



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Владимир Р. Миловановић

**МЕРЕЊЕ И УПРАВЉАЊЕ
ПЕРФОРМАНСАМА ОСНОВНЕ
ДЕЛАТНОСТИ У СЛОЖЕНИМ
РЕМОНТНИМ СИСТЕМИМА ПОМОЋУ
ФАЗИ ХИБРИДНОГ МОДЕЛА**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2025



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING

Vladimir R. Milovanović

**MEASUREMENT AND MANAGEMENT OF
CORE ACTIVITY PERFORMANCE IN
COMPLEX OVERHAUL SYSTEMS USING A
FUZZY HYBRID MODEL**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2025

Аутор	
Име и презиме: Владимир Р. Миловановић	
Датум и место рођења: 26.01.1984. године, Ваљево	
Садашње запослење: сарадник у настави-асистент, Војна академија, Универзитет у Београду	
Докторска дисертација	
Наслов: Мерење и управљање перформансама основне делатности у сложеним ремонтним системима помоћу фази хибридног модела	
Број страница: 135	
Број слика: 13	
Број библиографских података: 322	
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу	
Научна област (УДК): Индустијско инжењерство и инжењерски менаџмент	
Ментор: др Александар Алексић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу	
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације: IV-04-432/9, 21.06.2023.	

ЗАХВАЛНИЦА

Много уложеног рада и труда изнедриле су овај докторат. Овом приликом желим да изразим захвалност свима који су пружили стручну и моралну подршку.

Стручним вођењем и усмеравањем, конструктивним критикама, највећи допринос је дао ментор професор др Александар Алексић. Захваљујем му се на пруженој подршци.

Као неко ко иза себе има велико искуство и знање, својим компетенцијама у изради ове дисертације помогла је професор др Данијела Тадић, којој одајем посебно признање.

Радећи дисертацију захтевало је доста времена али и подршку своје породице, која је увек веровала и била уз мене. Овом приликом желим да им се захвалим.

Неко ко ми је стално уливао позитивну енергију, мотивацију и охрабривао речима када је било најтеже јесте моја девојка Мирјана, којој сам бескрајно захвалан.

Велика подршка ми је пружена од стране колега са Војне академије, који су својим искуством и стручношћу дали допринос у изради дисертације, и због тога сам им захвалан.

Трудећи се да спроведем своју идеју кроз дисертацију, учинило ме је поносним што ћу дати допринос научној заједници. Циљ сам остварио вођен мишљу нашег научника Николе Тесле, који је рекао:

„Ако будем имао среће да остварим барем неке од својих идеја, то ће бити добротинство за цело човечанство. Ако се те моје наде испуне, најслађа мисао биће ми та да је то дело једног Србина“

Крагујевац, 2025. године

Владимир Миловановић

РЕЗИМЕ

Унапређење успешности основне делатности представља најважнији циљ сваког предузећа. Показатељ остварених резултата се може добити мерењем перформанси процеса. У овој докторској дисертацији је развијен модел за мерење и управљање перформансама основне делатности у сложеним организацијама која се доминантно баве ремонтом техничких система.

Модел је развијен у седам фаза. Прву фазу чини декомпоновање процеса ремонта техничких система на потпроцесе које је реализовано помоћу HIPO (енг. *Hierarchy – Input – Output - Processing*) методе и APQC (енг. *American Productivity & Quality Center*) оквира, као и идентификовање кључних индикатора перформанси (енг. *Key Performance Indicators* – скр. KPI). У другој фази формирана су два експертска тима која су реализовала: оцењивање релативних важности сваког KPI, оцењивање KPI на нивоу сваког потпроцеса и одређивање циљних вредности сваког KPI. Експерти су оцене исказали у виду лингвистичких израза која су моделована са Ферматан фази бројем (енг. *Fermatean fuzzy sets* – скр. FFS). У трећој фази одређене су релативне важности потпроцеса уз постигнути консензус помоћу Делфи методе проширене FFS. У четвртој фази израчунате су вредности KPI на нивоу сваког потпроцеса. У петој фази извршено је рангирање KPI помоћу вишекритеријумских метода ELECTRE и VIKOR проширене са FFS. На основу методе сличности одређено је најбоље осам ранжираних KPI. У шестој фази мерени су KPI помоћу вишекритеријумске методе SAW проширене са FFS, а на основу добијених резултата је донет закључак о ефикасности процеса ремонта. У седмој фази реализовано је унапређење KPI помоћу генетског алгоритма на основу измерених и циљних вредности сваког KPI.

Модел је тестиран на формалним подацима из ремонтне организације. Истраживање је показало да је могуће идентификовати KPI који највише утичу на процес ремонта, и да се на основу измерених вредности KPI може утврдити успешност процеса ремонта. Такође, коришћењем генетског алгоритма је могуће пронаћи најоптималније решење за унапређење KPI.

Провера осетљивости модела је реализовано разним приступима као што је: промена тежине критеријума максимализованог групног обележја код методе VIKOR; промена начина моделовања неизвесности код методе ELECTRE; промена начина одређивања дистанци између FFS. Применом методе сличности резултати су показали да је предложени модел стабилан и да се као такав може користити за мерење и управљање перформансама процеса ремонта техничких система.

Кључне речи: *перформансе, KPI, FFS, процес ремонта, GA, HIPO метод, ELECTRE, VIKOR, SAW метод, анализа осетљивости.*

ABSTRACT

Enhancing the efficiency of core business activities represents the primary objective of any enterprise. Performance measurement serves as a key indicator of achieved results. This doctoral dissertation develops a model for measuring and managing the performance of core activities in complex organizations predominantly engaged in the overhaul of technical systems.

The model is developed through seven phases. The first phase involves the decomposition of the technical system overhaul process into subprocesses, using the Hierarchy-Input-Output-Processing (HIPO) method and the American Productivity & Quality Center (APQC) framework, along with the identification of Key Performance Indicators (KPIs). In the second phase, two expert teams were formed to evaluate the relative importance of each KPI, assess KPIs at the subprocess level, and determine target values for each KPI. Experts expressed their assessments using linguistic expressions modeled with Fermatean fuzzy sets (FFS). The third phase determines the relative importance of subprocesses through consensus achieved via the Delphi method extended with FFS. In the fourth phase, KPI values were calculated at the level of each subprocess. The fifth phase involved ranking KPIs using the multi-criteria methods ELECTRE and VIKOR, extended with FFS. Based on the similarity method, the top eight ranked KPIs were identified. In the sixth phase, KPIs were measured using the SAW method extended with FFS, and based on the obtained results, conclusions were drawn regarding the efficiency of the overhaul process. The seventh phase involved improving KPIs using a genetic algorithm (GA) based on measured and target values for each KPI.

The model was tested on formal data from a maintenance organization. The research demonstrated that it is possible to identify KPIs with the greatest impact on the overhaul process and that the measured KPI values can determine the success of the overhaul process. Additionally, GA can be used to identify the most optimal solutions for KPI improvement.

Model sensitivity was verified using various approaches, including changing the weight of the criteria for maximized group characteristics in the VIKOR method, modifying uncertainty modeling in the ELECTRE method, and altering the distance determination approach for FFS. The application of the similarity method confirmed that the proposed model is stable and can be effectively used for measuring and managing the performance of the technical system overhaul process.

Keywords: *performance, KPI, FFS, overhaul process, GA, HIPO method, ELECTRE, VIKOR, SAW method, sensitivity analysis.*

САДРЖАЈ

Списак слика.....	I
Списак табела	II
Списак скраћеница	III
1. УВОД.....	1
1.1. Предмет и циљ истраживања	1
1.2. Основне хипотезе	3
1.3. Методе истраживања	3
1.4. Очекивани резултати истраживања.....	4
1.5. Оквирни садржај рада.....	5
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ	8
2.1. Основна теоријска разматрања о појму одлучивања.....	8
2.2. Основна теоријска разматрања о перформансама	15
2.2.1. Мерење перформанси процеса	16
2.2.2. Анализа система за мерење перформанси	18
2.2.3. Анализа модела за мерење перформанси	19
2.3. Основна теоријска разматрања о кључним индикаторима перформанси	21
2.4. Основна разматрања о HIPO методи.....	24
2.5. Моделовање неизвесности	24
2.5.1. Моделовање неизвесности применом теорије фази скупова	25
2.5.2. Основна разматрања FFS.....	26
2.6. Делфи метода проширена са теоријом фази скупова	31
2.7. Метода ELECTRE проширена теоријом фази скупова	35
2.8. VIKOR метода проширена са теоријом фази скупова.....	37
2.9. SAW метода проширена са теоријом фази скупова	38
2.10. Основна разматрања о генетском алгоритму	39
3. РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА МЕРЕЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПРОЦЕСА РЕМОНТА.....	43
3.1. Основи процеса ремонта средстава.....	43
3.2. Алгебра FFS.....	44
3.3. Концептуални модел за мерење и унапређење перформанси процеса ремонта техничких система	47
3.4. Декомпоновање процеса ремонта према APQC оквиру.....	50
3.5. Одређивање експерата.....	52

3.5.1. Одређивање експерата за оцењивање релативних важности потпроцеса и KPI	52
3.5.2. Начини прикупљања информација од експерата	53
3.5.3. Начини исказивања мишљења експерата	54
3.6. Делфи метода проширена са FFS	54
3.7. Предложене методе за рангирање и оцену KPI.....	56
3.7.1. Алгоритам са алгебром методе ELECTRE проширен FFS.....	56
3.7.2. Алгоритам са алгебром методе VIKOR проширен FFS.....	59
3.7.3. Алгоритам са алгебром SAW методе проширен FFS.....	61
3.8. Анализа методе сличности.....	63
3.9. Алгебра генетског алгоритма.....	63
4. МЕРЕЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПРОЦЕСА РЕМОНТА НА ОСНОВУ РАЗВИЈЕНОГ МОДЕЛА	64
4.1. Одређивање важности KPI за процес ремонта техничких система	64
4.2. Мерење KPI процеса ремонта.....	76
4.3. Унапређење KPI процеса ремонта помоћу генетског алгоритма.....	77
5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА	80
5.1. Анализа резултата рангирања и мерења KPI	80
5.2. Анализа осетљивости модела на промене тежине критеријума максимализованог групног обележја код методе VIKOR	83
5.3. Анализа осетљивости модела на промену начина моделовања неизвесности код методе ELECTRE	85
5.4. Анализа осетљивости модела на промену начина одређивања дистанци са комперативном анализом	86
5.5. Анализа добијених перформанси помоћу SAW методе и њихово унапређење помоћу генетског алгоритма.....	88
6. ЗАКЉУЧАК.....	93
ЛИТЕРАТУРА.....	97
ПРИЛОГ	121

Списак слика

Ознака	Назив слике
2.1	Концептуални модел Делфи методе
2.2	Модел GA
3.1	Концепт развоја модела за рангирање и оцењивање KPI процеса ремонта
3.2	Дијаграм HIPO методе за процес ремонта
3.3	Модел за рангирање KPI процеса ремонта
3.4	Одређивање релативне важности потпроцеса (ω_{pri})
4.1	Фаза 2. а) Оцена важности PP_i и б) Оцена KPI на нивоу сваког PP_i
5.1	Графички приказ KPI вредности добијених методама VIKOR и ELECTRE
5.2	Ранг KPI за различите вредности „v“
5.3	Приказ ранга KPI за вредности $q=3,4,5,6,7,8,9,10$
5.4	Графичка анализа измерених и референтних вредности KPI
5.5	Праћење еволуције GA у 6. итерацији
5.6	Графичка анализа измерених, референтних и унапређених вредности KPI

Списак табела

Ознака	Назив табеле
2.1	Начини постизања консензуса и праг консензуса
2.2	Начини моделовања неизвесности и агрегације резултата
2.3	Компаративна анализа методе ELECTRE проширене са FFS
2.4	Компаративна анализа методе VIKOR проширене са FFS
2.5	Компаративна анализа GA
4.1	Лингвистички изрази за оцену важности потпроцеса
4.2	Оцена важности потпроцеса од стране експерата у првој итерацији
4.3	Оцена важности потпроцеса од стране експерата у другој итерацији
4.4	Лингвистички изрази за оцену KPI на нивоу потпроцеса
4.5	Рангирање R_j , S_j и Q_j према вредностима KPI
4.6	Избор приоритетних KPI
4.7	Анализа сличности рангова KPI
4.8	Измерене вредности KPI применом методе SAW
4.9	Одређивање индекса ефикасности KPI од стране експерата
4.10	Вредности индекса ефикасности KPI
4.11	Оптимално решење GA
5.1	Поређење резултата KPI добијених методама VIKOR и ELECTRE
5.2	Ранг KPI на основу вредности Q_j , када v узима вредност од 0 до 1
5.3	Ранг KPI применом q-ранг интуитивног фази броја
5.4	Рангирање KPI методом ELECTRE када се мења начин одређивања дистанци FFS
5.5	Рангирање KPI методом VIKOR када се мења начин одређивања дистанци FFS
5.6	Сличност рангирања KPI са променом начина одређивања дистанци
5.7	Вредности измерених и индекса ефикасности KPI
5.8	Вредности оптималног решења, измерених и индекса ефикасности KPI

Списак скраћеница

Ознака	Значење
<i>APQC</i>	енг. <i>American Productivity & Quality Center</i>
<i>p/d</i>	резервни делови
<i>KPI</i>	енгл. <i>Key Performance Indicators</i>
<i>PMS</i>	енгл. <i>Performance Measurement System</i>
<i>SCOR</i>	енгл. <i>Supply Chain Operations Reference</i>
<i>BSC</i>	енгл. <i>Balanced SCORcard</i>
<i>HIPO</i>	енгл. <i>Hierarchy – Input – Output - Processing</i>
<i>EFQM</i>	енг. <i>European Foundation for Quality Management</i>
<i>ABC</i>	енгл. <i>The Activity Based Costing</i>
<i>DEA</i>	енгл. <i>Data envelopment analysis</i>
<i>FFS</i>	енгл. <i>Fermatean fuzzy sets</i>
<i>MABAC</i>	енгл. <i>Multi-Attributive Border Approximation area Comparison</i>
<i>IFS</i>	енгл. <i>Intuitionistic Fuzzy Sets</i>
<i>TRFNs</i>	енг. <i>Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers</i>
<i>TIFNs</i>	енг. <i>Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers</i>
<i>VIKOR</i>	<i>Višekriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje</i>
<i>MODM</i>	eng. <i>Multi-Objective Decision Making</i>
<i>MADM</i>	eng. <i>Multi-Attribute Decision Making</i>
<i>MADGM</i>	eng. <i>Multi-Attribute Decision Group Making</i>
<i>ELECTRE</i>	франц. <i>Élimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
<i>SAW</i>	енгл. <i>Simple Additive Weighting</i>
<i>TOPSIS</i>	енгл. <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
<i>AHP</i>	енгл. <i>Analytic Hierarchy Process</i>
<i>GA</i>	енг. <i>Genetic Algorithms</i>
<i>PPi</i>	срп. <i>номпроцес</i>
<i>FFWPA</i>	енг. <i>Fermatean fuzzy weighted power average</i>
<i>FFWA</i>	енг. <i>Fermatean fuzzy weighted average</i>
<i>FFWPG</i>	енг. <i>Fermatean fuzzy weighted power geometric</i>
<i>NSFIVSS</i>	енг. <i>Neutrosophic Fermatean interval valued soft set</i>
<i>IVFFS</i>	енг. <i>Interval-valued Fermatean fuzzy set</i>
<i>CFFNS_f</i>	енг. <i>Complex Fermatean fuzzy N-soft set</i>
<i>APQC</i>	енг. <i>American Productivity & Quality Center</i>
<i>PCF</i>	енг. <i>Process Classification Framework</i>

1. УВОД

1.1. Предмет и циљ истраживања

Унапређење успешности пословања представља један од најважнијих стратегијских циљева сваког предузећа односно пословне организације. Овај циљ је могуће остварити мерењем и управљањем перформанси пословних процеса који се одвијају у предузећу. У највећој мери, ово се односи на процесе реализације основне делатности предузећа. На нивоу сваког пословног процеса, потребно је одредити које кључне индикаторе перформанси (енг. *Key Performance Indicators* – скр. KPI) треба пратити, анализирати и унапређивати.

У литератури постоје различити модели за мерење и управљање перформансама у организационим системима. Међутим, нису сви модели погодни за примену у свакој организацији. Погодност примене модела, у највећој мери, карактерише величина и област деловања предузећа. Стога, потребно је стално преиспитивати постојеће моделе и трагати за новим и напреднијим приступима мерењу и управљању перформансама. Генерално, сваки модел захтева да на основу измерених вредности KPI-ова, менаџмент предузима одговарајуће поступке и активности које директно утичу на подизање нивоа перформанси процеса реализације основних делатности предузећа.

Предмет ове дисертације јесте развој фази хибридног модела за мерење и управљање перформансама основне делатности у сложеним ремонтним системима. Основна делатност у сложеним ремонтним системима је процес ремонта техничких система. У овој дисертацији појам „мерење“ се односи на преузимање вредности од стране експерата.

Процес ремонта се реализују у складу са дефинисаним стандардима, користећи прописану технологију, сертификовану опрему и стручан кадар.

Да би се мерили перформансе процеса ремонта, потребно је идентификовати KPI.

Вредности могу бити мерљиве тј. изражене у некој мерној јединици (квантитативне) или немерљиве тј. изражене лингвистичким изразима (квалитативне).

Моделовање квалитативних KPI-ова може да буде засновано на примени различитих математичких теорија као што је теорија фази скупова (*Zadeh, 1965*) која има најширу примену у литератури.

Вредност KPI-ова и релативних важности потпроцеса зависи од оцене стручних лица односно експерата из процеса ремонта. Експерти одлуку могу да донесу консензусом или да се њихове процене обједињавају у једну оцену. Консензус може да се постигне применом различитих метода у којима се ставови експерата приближавају кроз итерације.

Модели за мерење перформанси чине један сегмент у процесу управљања перформансама. Развијени су са циљем да помогну менаџменту предузећа да идентификују проблеме и предложи одговарајући скуп мера за достизање жељеног нивоа перформанси.

Имајући у виду да не постоје јединствени и свеобухватни модели, јер сваки модел нуди другачију перспективу перформанси, потребно је изабрати и дефинисати модел који ће бити примењив на процес основне делатности у ремонтном систему.

Унапређење перформанси процеса може се постићи на егзактан начин кроз примену метода хеуристике које омогућавају брз долазак до решења који је довољно добар за проблем који се решава. Хеуристичке методе се користе у случајевима када применом класичних метода оптимизације не може да се нађе довољно добро решење.

Циљ ове докторске дисертације је да развије хибридни модел за мерење и управљање перформансама, који ће бити примењен на унапређењу перформанси основне делатности у ремонтним системима, како би се остварили задати циљеви.

Овај научни циљ реализоваће се кроз следеће парцијалне циљеве:

- Унапређење постојећих метода за одређивање релативне важности потпроцеса и вредности KPI-ова применом фази скупова,

Образложење: Фази скупови који ће бити коришћени за одређивање релативне важности потпроцеса и вредности KPI-ова јесу фази скупови вишег реда – Ферматан фази број (енгл. *Fermatean fuzzy sets* - скр. FFS) који је у светску научну литературу уведен 2019. године (*Senapati i Yager, 2020*).

- Постизање консензуса оцена релативне важности потпроцеса и њихових KPI-ова помоћу фази Делфи методе,

Образложење: Модификација традиционалне Делфи методе се огледа у следећем:

1. У традиционалној Делфи методи се за обједињавање процена доносилаца одлуке користи аритметичка средина. У модификованој Делфи методи која ће бити коришћена у докторској дисертацији користиће се оператор геометријске и аритметичке средине комбинован са алгебром FFS.

2. У традиционалној Делфи методи се користе дефинисане методе провере консензуса које зависе од скала мера. У докторској дисертацији, провера консензуса биће помоћу стандардне девијације комбинована са алгебром FFS где предложена процедура не зависи од скале мера.

- Дефинисање метода за мерење перформанси основне делатности у ремонтним системима,

Образложење: За рангирање и оцењивање кључних индикатора перформанси процеса основне делатности користе се методе вишекритеријумског одлучивања проширене са FFS као што су: елиминација и избор који одражава реалност (фр. *Élimination Et Choix Traduisant la REalité* - скр. ELECTRE) аутора Roy i Bouyssou (1986) и ВИшекритеријумска оптимизација и КОмпромисно Решење – скр. VIKOR (*Opricović, 1990*). За мерење KPI-ова процеса ремонта коришћена је јединствена адитивна метода (енг. *Simple Additive Weighting* - скр. SAW) аутора MacCrimona (1968).

- Унапређење KPI-ова основне делатности помоћу метода хеуристике.

Образложење: Избор метода за унапређење КРП-ова процеса ремонта заснована је на еволуционим методама хеуристике.

1.2. Основне хипотезе

Развој модела захтева дефинисање претпоставки односно хипотеза на основу којих се модел заснива. Приликом разматрања развоја модела, са идејом у ком правцу и смеру би модел требао да се развије, какви резултати се очекују од модела, произашле су три хипотезе (X_1 , X_2 и X_3).

Хипотеза – X_1 : Применом хибридних фази модела, на егзактан начин може да се одреди ранг КРП-ова процеса ремонта.

Образложење: Рангирање представља излаз из процеса одлучивања. На основу добијеног ранга, одређују се КРП-ови који имају највећи значај за посматрани пословни процес. Вредност КРП-ова пословних процеса се мери и прати како би исти били поређени са циљним вредностима. У случају одступања, прописују се адекватне менаџмент мере за унапређење КРП-ова који имају највиши ранг.

Термин хибридни фази модел представља у овом случају интеграцију фази Делфи методе проширене са FFS фази скуповима и методе вишекритеријумског одлучивања ELECTRE и VIKOR методе проширене са FFS.

Хипотеза X_1 биће доказана уколико се предложеним моделом одреди ранг КРП-ова процеса ремонта који одговара стварној ситуацији у анализираном ремонтном систему.

Хипотеза – X_2 : Применом хибридног фази модела, могуће је одредити на егзактан начин вредности сваког КРП-а што омогућава упоређивање са циљном вредношћу КРП-а.

Образложење: Термин хибридни фази модел представља у овом случају интеграцију фази Делфи методе и SAW методе проширене са FFS. На основу добијених вредности КРП-а врши се поређење са циљним вредностима.

Хипотеза X_2 биће доказана уколико се предложеним моделом одреди вредност сваког КРП-а која одговара стварној ситуацији у анализираном ремонтном систему.

Хипотеза – X_3 : Применом методе хеуристике могуће је изабрати оптимални скуп метода за унапређење КРП-ова процеса ремонта.

Образложење: Избор метода за унапређење КРП-ова процеса ремонта биће заснован на еволуционим методама хеуристике као што је генетски алгоритам (енг. *Genetic Algorithms* - скр. GA) Holland (1975). Скуп метода за унапређење КРП-ова процеса ремонта подразумева методе тоталног управљања квалитетом (Tague, 2004). Уколико постављени проблем буде решен применом GA, хипотеза X_3 биће доказана.

1.3. Методе истраживања

За прикупљање улазних података у овој дисертацији користи се анкета.

За моделирање пословних процеса користи се техника хијерархија-улаз-излаз-процес (енг. *Hierarchy-Input-Output-Processing* - скр. HIPO) IBM Corporation (1974).

Образложење: Наведена метода се користи за моделирање процеса основне делатности у ремонтним системима. Ово подразумева одређивање потпроцеса процеса ремонта и идентификацију KPI-ова.

За одређивање релативне важности потпроцеса и вредности KPI-ова користи се фази Делфи метода.

За моделовање неизвесних и непрецизних података (релативне важности потпроцеса и вредности KPI-ова) у овој дисертацији користе се фази скупови.

Образложење: Неизвесни и непрецизни подаци, као што су релативне важности потпроцеса и вредности KPI-ова описани су лингвистичким исказима који су моделирани FFS.

Применом модификоване Делфи методе одређене су тежине потпроцеса. Модификована Делфи метода проширена је, као што је већ назначено применом FFS.

За одређивање приоритета KPI-ова перформанси процеса ремонта користи се ELECTRE и VIKOR методе проширене са FFS.

Образложење: Рангирање представља излаз из процеса одлучивања. Термин хибридни фази модел представља у овом случају интеграцију Делфи методе, ELECTRE и VIKOR методе проширене са FFS.

За решавање проблема избора оптималног броја метода квалитета које се користе за унапређење процеса ремонта, користе се методе хеуристике као што је GA.

Образложење: Избор метода за унапређење KPI-ова перформанси и процеса ремонта заснована је на еволутивним алгоритмима. У овом случају користи се GA.

1.4. Очекивани резултати истраживања

Резултати примене постојећих модела за мерење перформанси предузећа, као што су Пирамида перформанси (Judson, 1990), Листа усаглашених циљева (енг. *Balanced Scorecard* – BSC) Kaplan i Norton (1993), Европска фондација за управљање квалитетом (енг. *European Foundation for Quality Management* - скр. EFQM) Steed (2002), модел указују на постојање извесних недостатака коришћених модела. Пре свега, овде се мисли на то да је: релативна важност KPI-ова једнака или унапред одређена, вредност KPI-ова описана прецизним бројевима. Код BSC се вредности исказују процентима, код EFQM модела постоји унапред дефинисана скала мера.

Реализацијом постављених циљева у оквиру ове докторске дисертације очекује се развој модела који ће решити идентификоване проблеме. У том смислу очекују се следећи резултати, који представљају допринос овог рада:

- моделовање непрецизних података применом FFS који смањују непрецизност при оцењивању KPI-ова,
- одређивање релативне важности потпроцеса и вредности KPI процеса ремонта применом Делфи методе проширене са FFS,
- увођење новог критеријума за постизање консензуса у Делфи методи,

- развој фази хибридног модела за рангирање и оцењивање КРП-ова који ће омогућити ефикасније управљање процесом ремонта.
- унапређење КРП-ова процеса ремонта применом метода хеуристике.

1.5. Оквирни садржај рада

Развој модела прати методологију која се у пракси показала као добар костур за писање научних радова. Начелно, оквирни садржај дисертације обухвата 7 (седам) целина, које хронолошки прате развој модела, према следећем:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Методологија истраживања
4. Студија случаја
5. Дискусија и импликација рада
6. Закључак
7. Литература

У првом поглављу је обрађен проблем и област у којој се врши истраживање. Остварити задане циљеве захтева стално праћење процеса, рано откривање и превентивно деловање на активности у процесима који су доминантни у ремонтном систему.

Сложеност ремонтног система у погледу организације, технологије, разноврсности ресурса (кадар, опрема, инфраструктура, време и др.) ствара простор за не планираним губицима које је за руководство ремонтног система невидљиво и директно утиче на остварење задатих циљева.

Развојем модела за мерење перформанси процеса реализације основне делатности у сложеним ремонтним системима, омогућава руководству да на бржи и једноставнији начин постигне циљне вредности које су од стратешког значаја за функционисање ремонтног система.

Основну делатности у ремонтним системима чине процеси одржавања као што су: ремонт техничких система, производња резервних делова за потребе ремонта и испомоћ организацијама која се баве нижим нивоима ремонта.

Сложени ремонтни системи раде током целе године како би обезбедили исправна средства корисницима. У раду ремонтног система је прописано и организовано управљање процесом ремонта, као основном делатношћу ремонтног система.

За истраживање је управо одабрана област управљање процесом ремонта, са циљем да се менаџменту сложеног ремонтног система олакша увид у функционисање основне делатности и предложи начини како да се унапреди процес ремонта.

Значај мерења перформанси процеса одржавања истакли су у својим радовима (Parida и остали, 2015; Kumar и остали, 2013; и Samat и остали, 2011.), који су анализирали разне приступе мерења перформанси процеса одржавања из угла предности и недостатака одређених модела.

Приликом истраживања проблеми који се могу појавити су објективне природе, као што су: време потребно за анализу литературе из области истраживања, као и

селектовање исте за потребе овог истраживања, доступност стручних лица из ремонтног система у тренутку анкетирања и време потребно за прикупљања података.

Наведени проблеми се превазилазе тако што се пре почетка анкетирања упуту обавештење о намени и циљу истраживања како би се учесници информисали и квалитетно припремили. Такође, питања у анкети морају бити јасно и недвосмислено дефинисана, како стручна лица не би довела у недоумицу приликом давања одговора.

За истраживање користи се: методе за прикупљање података као што је анкета; методе за моделовање процеса ремонта техничког система као што је HIPO метода; методе за одређивање релативних важности потпроцеса и вредности KPI-ова као што је модификована Делфи метода; моделирање неизвесности реализује се помоћу FFS-a; за рангирање KPI-ова користи се методе вишекритеријумског одлучивања; и на крају за унапређење перформанси процеса ремонта користи се GA.

Очекивани резултати треба да потврде постојеће и прикажу скривене проблеме у процесу ремонта. Применом GA може се доћи до унапређења KPI-a процеса ремонта техничких система у сложенем ремонтном систему. Такође развијени модел треба да послужи рационализацији ресурса који се користе у процесу ремонта, побољшању процеса ремонта, унапређењу радне околине и заштити животне средине.

У другом поглављу је дата анализа релевантне литературе у којој се третирају слични проблеми као у овој докторској дисертацији.

Анализирани су радову у којима је коришћен HIPO метод за моделовање процеса реализације основне делатности. Имајући у виду да је пословне перформансе могуће пратити и унапређивати на нивоу пословних процеса, у прегледу литературе анализиран је појам перформанси и KPI-ова. С обзиром на комплексност појма перформанси, објашњена је њихова декомпозиција на KPI-ове. У пракси је показано да пословни процеси (потпроцеси) немају исту релативну важност тако да је исту потребно одредити на егзактан начин. Моделовање неизвесних и непрецизних величина које егзистирају у разматраном проблему је засновано на примени теорије фази скупова. Неизвесности у релативној важности KPI-ова и њиховој вредности су описани помоћу FFS бројева.

У овом поглављу извршена је анализа радова који могу да се нађу у литератури у којима је Делфи метода проширена са фази бројевима. Треба нагласити да се фази Делфи метода веома често користи у проблемима групног одлучивања који су разматрани у литератури. Одређивање релативне важности потпроцеса и KPI-ова је заснована на предложеној Делфи методи која је проширена са FFS-a у овој дисертацији.

Рангирања KPI-ова респектујући тежине потпроцеса је засновано на методама ELECTRE и VIKOR које су проширене FFS. У овом поглављу, дат је преглед литературе употребе наведених метода.

На крају поглавља, анализира се методе хеуристике које могу да се нађу у литератури, и које ће у овој дисертацији да се користе за налажење оптималног побољшања KPI-ова процеса реализације основне делатности.

У трећем поглављу дата је методологија истраживања. У дисертацији је развијен хибридни модел за рангирање и оцењивање KPI-ова процеса ремонта техничких система у сложеним ремонтним системима.

За моделовање процеса у дисертацији користити се НПРО метод. НПРО метод је одабран из разлога што је погодан за хијерархијске структуриране процесе, прати ток информација кроз цео процес, идентификује процедурални ток од улаза у процес до излаза из процеса, прати односе између процеса као и унутар самих процеса.

За мерење КРІ процеса одређене су релативне важности потпроцеса и вредности КРІ-ова на нивоу сваког потпроцеса. У проблему одређивања релативних важности разматраних величина учествује више експерата из и ван ремонтног система и који се доминантно бави процесом ремонта техничких система. Експерти користе унапред дефинисане лингвистичке исказе за процену релативне важности разматраних величина. Ови лингвистички искази су моделирани FFS-а.

Процедура за испитивање консензуса доносиоца одлука који учествују у процесу одређивања релативне важности је развијена у оквиру предложене Делфи методе са FFS-а.

Рангирање КРІ-ова на нивоу сваког потпроцеса засновано је на комбиновању: (1) Делфи методе са FFS и ELECTRE са FFS (2) Делфи методе са FFS и VIKOR са FFS, док је мерење КРІ-ова реализовано помоћу фази SAW са FFS. На основу резултата прва два модела, одређен је ранг КРІ-ова на нивоу сваког потпроцеса. Излазни резултати из SAW методе представљају оцену КРІ-ова процеса ремонта техничких система. Добијене вредности КРІ-ова упоређене су са циљном вредношћу КРІ-ова коју је задао тим експерата.

На основу добијених резултата што подразумева измерене вредности КРІ-ова и одступања од циљних вредности, уз ограничења која су дефинисана, предложена је оптимизација модела за избор метода за унапређење критичних КРІ-ова процеса ремонта. За унапређење КРІ-ова коришћена је оптимизација помоћу генетског алгоритма, који припада методама хеуристике.

У четвртој поглављу извршено је тестирање предложеног хибридног модела. Модел је тестиран на подацима који потичу из сложеног ремонтног системима који се доминантно бави ремонтом сложених техничких система. Уколико се унапређењем КРІ-ова постигну циљне вредности ремонтног система, модел је верификован и као такав може се користити у пракси односно може послужити менаџменту ремонтног система за управљање процесом реализације основне делатности.

У петом поглављу извршена је анализа резултата истраживања. Анализиране су вредности КРІ добијене помоћу метода ELECTRE и VIKOR проширене са FFS, анализиране су вредности оцењених КРІ, као и резултати унапређења помоћу GA. Такође је реализовано тестирање осетљивости модела VIKOR када се мења вредност тежине критеријума максимализованог групног обележја. Затим је реализовано тестирање осетљивости методе ELECTRE када се моделовање неизвесности реализује интуитивним фази бројем вишег реда ($q > 3$). Анализирана је осетљивост методе VIKOR и ELECTRE када се примењују други начини одређивања дистанци између FFS. Помоћу методе сличности донет је закључак о стабилности развијеног модела.

У шестом поглављу приказани су закључци из спроведеног истраживања. Такође, дата су ограничења предложеног модела као и будућа истраживања.

У седмом поглављу су дате референце које су коришћене у дисертацији.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

У овом поглављу биће дата анализа релевантне литературе која је повезана са предметом истраживања у овој докторској дисертацији.

2.1. Основна теоријска разматрања о појму одлучивања

У савременим условима пословања, организације су под сталним утицајем бројних интерних и екстерних фактора. Да би се организације развијале и испуњавале циљеве, своје пословање морају прилагођавати убрзаном развоју техничко-технолошким достигнућима и неизвесним економским, друштвеним и политичким процесима.

У оваквим условима менаџмент мора брзо да одлучује и доноси праве одлуке које за крајњи циљ имају остварење планираних циљева. Један од основних циљева менаџмента организације јесте да својим услугама и производима задовољи кориснике, чији се захтеви релативно брзо мењају.

Како би испунили наведени циљ, организације треба да доносе правовремене, исправне и тачне одлуке. Да би одлука била квалитетна, менаџменту организације је потребно да поседује релевантне улазне податке.

У ранијим периодима када су услови пословања били стабилнији, главну улогу код доношења одлука заузимали су индивидуални доносиоци одлука.

У данашњем времену је то другачије због постојања великог броја информација које је потребно обрадити, како би се донела права одлука. У сложеним ситуацијама није довољан само један доносилац одлуке, већ је неопходан тим експерата који ће радити на доношењу квалитетне одлуке.

Дакле, може се рећи да процес доношења одлуке постаје један од значајнијих фактора који директно утиче на успешност пословања организације, што за последицу има интензиван развој модела и метода одлучивања као и њихово стално унапређивање.

Данас може да се нађе велики број дефиниција појма одлучивања, које су на даље изложене.

Одлучивање је специфична обавеза са акцијом (*Mintzberg, 1973*).

Одлучивање представља низ активности које су међусобно повезане, условљене, следе једна иза друге а чији је резултат доношење одлуке (*Zverev, 1983*).

Одлучивање представља бирање смера односно начина деловања између више могућности (*Koontz i Weihrich, 1990*).

Одлучивање посматра као процес решавања проблема, где је важно да онај што одлучује мора видети проблем (*Baračkai, 1991*). Доносиоци одлука могу припадати некој од следећих типова људи: тип „не зна да не зна“, „зна да не зна“, „не зна да зна“ и „зна да зна“. Из напред наведеног се види да у процесу одлучивања учествују различити типови људи, где тип људи „не зна да не зна“ може највише донети штете у доношењу одлуке, јер нису свесни свог не знања. Најпожељнији доносиоци одлука су типови људи „зна да зна“ због своје сигурности, компетентности, одлучности за доношење квалитетне, правовремене и тачне одлуке.

Одлука представља избор између више алтернативних могућности за решавање проблема (*Schermerhorn*, 1996).

Одлука је конкретан појам који има пет елемената: стратегију или правац акције под контролом доносилаца одлуке; могућа стања која нису под контролом доносиоца одлуке, али утичу на постизање циљева; појаву (ефекат) који наступа када се неки специфични правац акције примени уз појаву неког могућег стања; предвиђања наступања сваког могућег стања, односно вероватноће могућих стања и критеријума одлучивања који прописује избор једног правца акције (*Jovanović*, 1998).

За одлучивање је важно да се ради о процесу који траје дуже или краће време, у којем се врши избор између најмање две или више могућности, а да би се решио проблем због којег се и реализује одлучивање (*Sikavica* и остали, 1999). Као резултат сваког одлучивања, појављује се избор (одлука). Тај избор врши доносилац одлуке, тј. особа која у потпуности сноси одговорност за донету одлуку. Одлука је резултат одлучивања и увек се доноси да би се испунили одређени захтеви - циљеви који су постављени у размотреном проблему. Може се схватити као избор између више алтернативних могућности и обично представља одзив на неку конкретну потребу или реакцију на нешто.

Једна од карактеристика одлуке јесте да се она јавља и као резултат тренутне и емотивне ситуације доносиоца одлуке, с тога је потребно да свака одлука садржи следеће (*Ћипић* и остали, 2008):

- субјекат и објект на који се одлука односи у циљу решења одређеног проблема,
- активности које треба реализовати како би донесена одлука била извршена,
- циљеве које треба остварити реализацијом донесене одлуке,
- ограничавајуће факторе који утичу на процес реализације донесене одлуке,
- временске рокове у којима је потребно реализовати донесене одлуке и
- материјално-техничке и финансијске ресурсе за реализацију донесене одлуке.

Под одлуком се подразумева интелектуални резултат у процесу евалуације алтернатива који се спроводи ради постизања одређеног циља, у коме очекивања од специфичне акције приморавају доносиоца одлуке да изабере акцију која највероватније резултује постизање циља (*Harrison i Pelletier*, 2000).

Одлучивање се може дефинисати као "процес који се састоји из низа корака, које треба предузети да би се извршио избор најбоље акције - алтернативе" (*Ћипић* и остали, 2001).

Одлучивање разликује три основна појма (*Ћипић* и остали, 2008):

- доносиоца одлуке – лице које доноси одлуку,
- процес одлучивања – поступци и методе који претходе коначној одлуци, и
- одлука – као резултат одлучивања.

Из напред наведене анализе појма одлуке, може се рећи да одлука представља избор између више понуђених алтернатива за решење одређеног проблема који настаје као резултат процеса одлучивања.

а) Врсте одлука

Разврставање одлука се обично врши према критеријумима на основу којих се одлуке разматрају и доносе. Према (www.statusprosper.com/2008/poslovnoodl.html, приступљено 12.02.2023. године) у зависности који критеријуми се разматрају код доношења одлуке, одлучивање је разврстано према:

- броју особа које одлучују односно доносе одлуку,
- количини расположивих значајних информација и знања у ситуацији одлучивања,
- оцени довољности расположивих информација у процесу одлучивања,
- субјекту одлучивања,
- нивоу организације на коме се доносе одлуке и
- структурираности одлучивања.

Према броју експерата који доносе одлуку разликује се:

- индивидуално и
- групно одлучивање.

Према количини расположивих значајних информација и знања у ситуацији одлучивања, разликује се:

- одлучивање у условима извесности,
- одлучивање у условима ризика,
- одлучивање у условима неизвесности, и
- одлучивање у условима комбинације ризика и неизвесности.

Према оцени довољности расположивих информација за одлучивање, разликују се следећи облици одлучивања:

- термалне и
- истраживачке.

У зависности од субјекта одлучивања, разликује се:

- одлучивање у приватној сфери живота, и
- пословно одлучивање.

У зависности од нивоа организације на коме се доносе одлуке, разликује се:

- оперативне одлуке,
- тактичке одлуке, и
- стратегијске одлуке.

У зависности од структурираности одлучивања, разликује се:

- структурирано, програмирано, и
- неструктурирано, непрограмирано.

б) Индивидуално и групно одлучивање

Основна разлика између индивидуалног и групног одлучивања јесте у броју особа које учествују у самом процесу доношења одлуке, начин одлучивања, време трајања процеса доношења одлуке и други фактори.

Када су у питању доносиоци индивидуалних одлука, према (www.ctmc.foi.hr:8080/kotwiki/index.php, приступљено 12.02.2023. године) постоје:

- ирационална особа – предлаже одлуку и ако постоји несигурност,
- креативна особа – одлуке доноси у складу са жељама за властитим развојем,
- класични тип – потпуно информисане особе,
- административни тип – доноси одлуку у условима ограничене рационалности.

Групне одлуке (www.statusprosper.com/2008/poslovnoodl.html, приступљено 12.02.2023. године) доноси два или више појединаца који заједнички у оквиру једног тима раде групно на решавању одређеног проблема. У пракси свака група је подгрупа неке веће групе, односно свака група има своје подгрупе. Успех групног одлучивања зависи од састава, величине и кохезивности групе.

Група је више људи који се понашају као целина са циљем да реши добијени задатак. Група може бити стална и повремена, где чланови могу радити у различито време (Ћипић и остали, 2001).

Основни задаци групног рада према (Ћипић и остали, 2001) су:

- проверавање да ли су расположиви подаци довољно тачни и поуздани, колико траје њихова тачност у простору и времену?
- да ли су тумачења расположивих података тачна и довољно усаглашена?
- да ли су закључци правилно формиран на основу потребних, довољно релевантних информација и да ли је извршена валидност у времену и простору?
- да ли су предложена решења формирана на основу потребних, довољних и релевантних закључака и релевантности квалитета решења у времену и простору?
- колико се и докле са предложеним решењем може постизати основни циљеви: опстанак, ефикасност, функционисање и прогрес појединца, организације у друштва у целини?
- тимски рад треба заштити од емотивних закључака, решења и одлука и од недопустивог приближавања крајности.
- тимски рад треба да има васпитну и образовану улогу, треба организовати индивидуалисте, мобилисати лење, образовати необразоване, васпитати неваспитане.

Постоје шест основних врста групног одлучивања (Ћипић и остали, 2001):

- *унилатерално одлучивање* – представља прелаз од индивидуалног ка групном одлучивању. Вођа групе је тај који углавном доноси одлуку, ретко се консултује са осталим члановима, што изазива незадовољство и неповерење код осталих чланова тима. Овакво одлучивање се јавља као последица изузетно високог

ауторитета вође групе у односу на остале чланове тима. Типична примена је у војним организацијама.

- *двојно одлучивање* - представља доношење одлуке само два члана тима, где су остали чланови тима само неми посматрачи или статисти. По правилу један од ова два члана предлаже одлуку а други је усваја. Одговорност за донесену одлуку сnose ова два члана, док су остали чланови мало одговорни.
- *одлучивање језгра групе* – представља постојање једне мале неформалне групе од пар чланова унутар формалне групе, која се зове “језгро”. Ову малу групу одликује супериорност у односу на остале чланове групе. Одлуку доноси језгро групе и на њима је одговорност за донесену одлуку, док је код осталих чланова групе низак степен одговорности.
- *мамац одлучивање* – представља карактеристичну појаву неког од чланова групе, који скреће пажњу на себе, на врло сугестиван начин уз често постављање питања “Дакле, коначно смо се договорили. Јел тако?”. Остали чланови се обично не јављају, не супротстављају овој констатацији и прихватају је као коначну одлуку. За ову групу је карактеристичан низак степен одговорности осталих чланова групе.
- *правило већине* – представља једну популарну врсту групног одлучивања. Одлуке предлаже и доноси формална већина у односу на неформалну мањину. Одлуке се доносе углавном изгласавањем. Главни недостатак јавља се у незадовољству мале неформалне групе, из разлога што се њихови ставови и мишљења не уважавају.
- *консензус одлучивање* – представља максимално ангажовање свих чланова групе приликом разматрања, предлагања и доношења одлуке уз потпуно усаглашавање свих чланова са донетом одлуком. Оваква врста одлучивања карактерише и веома висок степен одговорности сваког члана групе.

На основу извршене анализе појма, значаја и врсте одлучивања, а за потребе унапређења перформанси процеса ремонта, препозната је потреба за примену групног одлучивања. Међутим, групно одлучивање је доста комплексније од индивидуалног и често га прате одређени проблеми у којима се постављају нека питања као што су: Како одредити компетентност доносиоца одлука? Који формати информација су погодни за примену од стране доносиоца одлука приликом евалуације алтернатива? Како објединити различите формате информација добијене од стране доносиоца одлука? Како ефикасно постићи консензус или сагласност међу доносиоцима одлука?

в) Доношење одлука

Технике одлучивања представљају скуп метода који се користе за решавање проблема у процесу одлучивања. *Правила одлучивања* су претходно дефинисани тестови који се користе за просуђивање. *Вештина одлучивања* је способност коришћења нечијег знања у процесу доношења одлуке. Алтернативе између којих треба вршити избор и усвојити једну од њих, мора да поседују одређену количину информација о карактеристикама конкретног предмета одлучивања.

За доношење конкретне одлуке потребно је имати на уму четири карактеристике (Nikolić i Borović, 1996):

- важност - на приступ припремања и спровођења одлуке од основног утицаја је њен значај, што се исказује кроз: циљеве које треба остварити одлуком

(стратешке, тактичке и оперативне природе), последице доношења или не доношења добре одлуке.

- време - за доношење одлуке потребно је одговарајуће време за припрему. Одлука се мора донети благовремено како би се постигли најбољи ефекти у датим условима. И најбоља одлука донета са закашњењем више не мора бити добра одлука, услед могуће промене услова у којима се она спроводи. Ефекти закасниле одлуке могу бити умањени, односно имати мање или веће штетне последице, док би друга одлука имала оптималне резултате.
- трошкови - вредност одлуке не може бити мања од учињених трошкова за њено припремање, имајући на уму да цена погрешно донете одлуке може бити врло велика. На пример: погрешне стратешке одлуке могу имати дугорочне негативне последице које се или не могу отклонити или би неутралисање таквих последица трајало дуго, односно захтева велике трошкове, укључујући и трошкове припремања нових одлука.
- сложеност - разматрање великог броја чињеница, њихова променљивост и зависност, степен поузданости података и њихова комплетност, одређује степен сложености одлуке и приступ припремању такве одлуке.

Одлука се може донети и када постоји само једна могућност, али у већини случајева под одлуком се подразумева избор из скупа од најмање две могућности којима се остварује задани циљ (*Pavličić* и остали, 2010). Избор је могуће урадити на основу: технике одлучивања, правила одлучивања и вештине одлучивања.

Сагледавањем напред наведених карактеристика, може се закључити да је процес доношења одлуке изузетно комплексан и сложен, где на почетку процеса постоји одређени скуп идеја везаних за предмет одлучивања, који се може приказати кроз одговарајућу хијерархију елемената.

г) Процес доношења одлука

Процес доношења одлуке састоји се из низа одређених фаза, где начин дефинисања фаза и број фаза није исти за решавање свих проблема, већ се дефинише од специфичности случаја који се разматра и за који се доноси нека одлука. Процес одлучивања је приказан кроз девет фаза (*Pavličić* и остали, 2010):

- посматрање тренутне ситуације (почетног стања) и уочавање проблема,
- прецизно дефинисање проблема,
- дефинисање циљева (критеријума избора),
- идентификација алтернативних праваца (алтернатива, опција),
- прикупљање информација,
- оцењивање (евалуација) алтернатива,
- избор,
- спровођење акције,
- анализа резултата.

Доношење одлука је сложен процес који се разматра кроз више фаза (*Turban* и остали, 2010):

- дефинисање проблема (проблемске ситуације),
- конструкција модела који описује реалан проблем,
- индентификација и оцена могућих решења моделованог проблема,
- поређење, избор и препорука могућих решења проблема.

Из напред наведених фаза се види да је предуслов за доношење квалитетних одлука, са једне стране доступна, квалитетна и благовремена информација, а са друге стране потребно знање и искуство доносиоца одлуке из теорије одлучивања и оптимизације. Самим дефинисањем фаза процеса одлучивања, наведени процес постаје организованији, ефикаснији и рационалнији. Битно је напоменути да је присутна ситуација када донета одлука не мора остати у првобитном облику, тада се спроводи једна од мера (*Nikolić i Borović, 1996*):

- да се претходна одлука у мањој или већој мери допуни,
- да се претходна одлука у потпуности замени,
- да се претходна одлука замени одлуком о другом односно новом проблему.

Донесена добра одлука је успешан резултат сваког процеса одлучивања. Доношење одлуке представља интелектуални резултат у процесу евалуације алтернатива ради постизања одређеног циља у коме се приморава доносиоц одлуке да изабере ону алтернативу која резултује постизање одређеног циља (*Harrison i Pelletier, 2000*). Одлука мора бити благовремена, недвосмислена, прецизна, реална и јасна, како би могла успешно да реши проблем (*Sikavica и остали, 1999*).

д) Доношење одлуке применом вишеатрибутивних метода одлучивања

Доношења одлуке на егзактан начин захтева примену математичких метода. У литератури се може наћи разни приступи подела модела вишекритеријумског одлучивања (*Hwang i Yoon, 1981; Zavadskas и остали, 2014; Chai и остали, 2013; Figueira и остали, 2005*):

- методе корисности: адитивна метода SAW (енг. *Simple Additive Weights*), WSM (енг. *Weighted Sum Model*), SMART (енг. *Simple Multiattribute Rating Technique*), SPW (енг. *Simple Product Weighting*), WPM (енг. *Weighted Product Model*), AHP (енг. *Analytic Hierarchy Process*), ANP (енг. *Analytic Network Process*), MACBETH (енг. *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*);
- методе рангирања (енг. *Outranking methods*): ELECTRE (енг. *Elimination and Choice expressing reality*), PROMETHEE (енг. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), NAIAD (енг. *Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments*), COPRAS (енг. *Complex Proportional Assessment of alternatives*), ARAS (енг. *A new Additive Ratio Assessment*);
- методе компромиса (енг. *Compromise methods*): TOPSIS (енг. *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*), VIKOR (Вишекритеријумска Оптимизација И Компромисно Решење) и CP (енг. *Compromise Programming*);
- и остале методе: DEMATEL (енг. *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) и SMAA (енг. *Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis*).

За потребе развоја модела за мерење перформанси процеса ремонта у сложеним ремонтним системима користе се модели вишекритеријумске оптимизације, који припадају групи метода рангирања, методи компромиса и методи корисности.

2.2. Основна теоријска разматрања о перформансама

У литератури може да се нађе велики број радова у којима су дате дефиниције термина „перформанса“. Неке од најчешће коришћених дефиниција разматраног појма на даље су изложене.

Термин перформанса представља учинак или успех организације односно учинак или успех процеса (*Morton i Benson, 1990*).

Перформансе пословних процеса представљају резултат или ефекат процеса, који је приказан кроз неку квалитативну или квантитативну променљиву (*Harrington, 1991*).

Перформансе су остварене особине елемената и система (*Видовић, 1997*).

Перформансе организације односно процеса представљају успешност постизања циља која је представљена кроз вишедимензионалну величину, која укључује ефикасност, ефективност, квантитативне и квалитативне показатеље (*McCormack i Johnoson, 2001*) .

Термин перформанси може да се дефинише као карактеристика или показатељ резултата функционисања предузећа (*Nelly, 2002*).

Перформансе предузећа су показатељи успешности пословања, које доприносе постизању опипљивих, специфичних, мерљивих, вредних пажње и лично значајних стратегијских циљева (*Enos, 2007*). На основу дате дефиниције може се рећи да је перформанса неког предузећа показатељ успешности тог предузећа.

Праћењем перформанси предузећа или процеса може се закључити да ли предузеће послује у складу са својим циљевима, односно ако се ради о перформансама процеса да ли се процес одвија онако како је дефинисано. На основу перформанси процеса, може се доћи до закључка шта је то што је потребно у процесу променити да би се процес одвијао онако како је замишљено или како је дефинисано да се одвија.

Класификација и број идентификованих перформанси зависи од случаја до случаја односно од места примене.

У моделу за мерење производње у америчким компанијама дефинисано је седам перформанси: квалитет, трошкови, способност испоруке, време производње, флексибилност и односи између запослених (*Maskell, 1992*).

У моделу за управљање квалитетом дефинисане су следеће перформансе: подршка топ менаџменту, квалитет информација, управљање процесима, дизајн производа, управљање радном снагом, сарадња са добављачима и сарадња са купцима (*Flynn и остали, 1994*).

У стратешком моделу за мерење учинка у светским операцијама дефинисано је девет најважнијих перформанси: иницијатива менаџмента, квалитет, сервис купаца, унапређење односа са добављачима и купцима, напредне технологије, контрола

технолошке опреме, флексибилност, управљање ценама и трошковима и глобална конкурентност (*Kasul i Motwani*, 1995).

У моделу за анализу вредности перформанси за производњу дефинисано је девет категорија перформанси: продуктивност, флексибилност, квалитет, трошкови, залихе, односи са купцима, безбедност, друштвено одговорно пословање и конкурентска предност на основи којих се успоставља систем за мерење перформанси (*Kodali* и остали, 2004).

У моделу за развој и верификацију критичних тачака управљања животном средином дефинисано је седам врста перформанси: подршка менаџменту, активно укључење запослених, обука, дизајнирање производа, управљање купцима, мерење учинка активности и менаџмент информационих система (*Wee i Quaizi*, 2005).

У оквиру за мерење перформанси за производњу идентификовано је једанаест перформанси: подршка топ менаџмента, сервис купаца, однос трошкова и цена, квалитет, контрола технологије, брзина, иновативност, флексибилност, управљање материјалом и добављачима, глобална конкурентност, здрава животна средина и безбедност (*Digalwar i Metri*, 2005).

Сходно потребама организације или процеса идентификоване су следеће перформансе (*Davis i Brabander*, 2007):

- ефикасност процеса,
- ефективност процеса,
- перформансе адаптивности (флексибилности) процеса и активности,
- перформансе квалитета (поузданост у раду, трајност),
- перформансе квантитета (количине),
- перформансе времена (расположивост, брзина, испорука),
- перформансе извршења и
- перформансе вредности (цена производа, трошкови производа).

Класификација перформанси која је заснована на *Lean* концепту дата је у раду *Susilwati* (*Susilwati* и остали, 2013). Аутори сугеришу да се стратегија предузећа претвори у циљеве који се декомпонују у осам перформанси: однос са купцима, однос са добављачима, управљање производњом, истраживање и развој, управљање запосленима и ефикасност предузећа.

Анализирајући наведене перформансе предузећа и процеса, може се видети да су аутори идентификовали до десетак најважнијих перформанси, којима се мери успешност односно учинак неког процеса.

2.2.1. Мерење перформанси процеса

Мерење перформанси представља процес обраде структурираних података прикупљених у току истраживања, при чему се као излазни податак појављују квантификовани показатељи ефикасности одабраних перформанси.

Да би се дошло до закључка да ли организација или процес испуњава свој задати циљ, потребно је помоћу мерења перформанси доћи до квантитативних или квалитативних показатеља, на основу којих се може рећи да ли организација или процес успешно функционише или не.

Мерење перформанси представља утврђивање учинка односно успеха организације или процеса.

Мерење перформанси представља нумеричке или квантитативне индикаторе који показују како се остварује задани циљ (*Pritchard* и остали, 1990).

Мерење перформанси процеса презентује како успешне организације или појединци остварују своје циљеве (*Evangilidis*, 1992).

Мерење перформанси представља оцену која квантификује колико квалитетно активност у процесу или ван процеса испуњава предвиђен циљ (*Hornes*, 1993).

Имајући у виду да је овај рад усмерен на рангирање и оцену KPI-ова процеса, потребно је дати дефиницију процеса. Процес према стандарду *ISO 9001* се дефинише као „Скуп међусобно повезаних или међусобно делујућих активности који претвара улазне елементе у излазне елементе“. Из наведене дефиниције, Стандард *SRPS ISO 9001:2015* (приступљено 02.04.2024. године) истиче процесни приступ који је заснован на међусобној повезаности, координацији и деловању пословних процеса, њихових активности и потпроцеса, усмерених ка остварењу циљева.

Да би се одредила успешност процеса, потребно је дефинисати индикаторе на основу којих ће се вршити оцењивање, мерење и управљање перформансама. Битно је да се након реализације процеса постигне задати циљеви.

Према различитим критеријумима аутори су направили различите квалификације пословних процеса, с тога издвајамо неке од њих:

- према начину на који процес ствара вредност пословању, пословни процеси су квалификовани као: процеси који стварају вредност, процеси који нуде опције и процеси који чувају вредност (*Keen*, 1997);
- пословни процеси се дели на (*Harmon*, 2005): главне процесе, процесе подршке и процесе менаџмента односно управљачке процесе;
- на основу колико свака од активности ствара додатну вредност пословању, класификоване су активности процеса на: додавање велике вредности, додавање мале вредности и додавање одређене вредности (*Harrington*, 2006).

Да би се управљало перформансама процеса потребно је испланирати односно дефинисати жељене перформансе процеса, затим пратити, мерити и на основу добијених резултата вршити побољшања односно корекције у самом процесу.

Код праћења перформанси процеса битно је континуирано посматрање и додатна истраживања процеса, која утичу на остваривање циља процеса.

Код мерења перформанси, мери се учинак процеса. Након мерења процеса, уколико постигнути резултати одступају од жељеног исхода, предузимају се мере тј. акције за побољшање перформанси процеса.

Пословни процеси се декомпонују на потпроцесе и активности (*Krstić i Sekulić, 2007*). Да би се оценила успешност процеса онда се и перформансе процеса могу декомпоновати на перформансе потпроцеса и перформансе активности. Овим начином добија се детаљнија слика о функционисању процеса, као и лакша примена метрике перформанси процеса.

2.2.2. Анализа система за мерење перформанси

У циљу ефективног мерења перформанси процеса потребно је развити адекватан систем за мерење перформанси (енгл. *Performance Measurement System* - скр. PMS), који ће подржати стратегије и планове за унапређење процеса, као и идентификовање кључних индикатора перформанси.

Систем за мерење перформанси представљен је кроз четири фазе: избор мерила перформанси, припрема за имплементацију система за мерење перформанси процеса, имплементација система за мерење перформанси процеса и проналажење могућности унапређења система за мерење перформанси процеса (*Kueng, 1999*).

Систем за мерење перформанси организације треба да чини сет мерења перформанси, која ће менаџменту организације помоћи у контролисању, одлучивању и решавању проблема како стратегијског тако и оперативног карактера (*Krstić, 2012*).

Циљ система за мерење перформанси треба организацији да омогући једноставно презентовање резултата, како би сви у организацији могли да те резултате лако користе при даљем доношењу одлука (*Krstić i Stojković, 2014*).

Мерење перформанси у организацији на свим нивоима чини систем мерења интегралним. Систем за мерење перформанси треба да помогне у: елиминисању субјективности у процесу доношења управљачких одлука, нерационалном коришћењу ресурса, да појача одговорност менаџерске структуре и да се запослени дисциплинују у извршењу задатака.

У процесу мерења перформанси потребно је укључивање свих стручних органа организације, јер се на тај начин обезбеђује контрола над организацијом односно процесом. Систем за мерење перформанси је потребно прилагођавати и мењати сходно променама која настају у организацији или окружењу.

На пример систем за мерење перформанси у ланцу снабдевања представља скуп елемената који се користе за квантификовање ефикасности и ефикасности акција (*Cvetić и остали 2011*).

Систем за мерење перформанси дефинише се као скуп метрика коришћених за квантификовање ефикасности и ефикасности акције односно скуп тачно одређених мера перформанси процеса, који помажу менаџменту при управљању перформансама организације (*Rajković и остали, 2013*).

Елементи система за мерење перформанси су: мере перформанси, метрика и индикатори перформанси.

У математици појам метрике представља функцију раздаљине која дефинише удаљеност између елемената неког скупа, где су елементи реални бројеви. Скуп са метриком се назива метрички скуп. Геометрија метрику користи за векторске изразе.

Да би се применила метрика на мерење перформанси, потребно је одредити за сваку перформансу референтну вредност (нпр. вредност А). Вредност која се добије мерењем перформансе (вредност В) одузима се референтне вредности перформансе (А), и тиме се добија резултат D, који показује колико се остварена перформанса приближава односно удаљава од задате перформансе. На основу добијених резултата, потребно је предузети мере у циљу унапређења перформанси, односно тежити да мерене вредности буду једнаке референтној вредности $A=B$, $D=0$.

Досадашњом анализом литературе могуће је разврстати системе за мерење перформанси према следећем:

- системи за мерење перформанси који су стриктно везани за финансијске мере (у хијерархијској структури повезују трошковне и не трошковне перформансе на различитим нивоима);
- системи за мерење перформанси засновани на уравнотеженим показатељима успешности (перформансе за различита подручја се посматрају одвојено, а њихова веза се дефинише прилично уопштено);
- системи за мерење перформанси који подразумевају синтезу мера нижег нивоа и обједињене индикаторе, али без тежње да преведу не финансијске у финансијске перформансе;
- системи за мерење перформанси који праве разлику између интерних и екстерних перформанси; и
- системи за мерење перформанси који се директно везују за ланац вредности и уважавају интерне везе купаца и добављача.

Из напред наведене анализе уочљива је важност и значај система за мерење перформанси, која менаџменту омогућава што ефектније мерење перформанси процеса.

Управљање перформансама процеса може се реализовати кроз четири основне фазе (*Krstić i Sekulić, 2007*): планирање циљаних нивоа перформанси процеса, мерење перформанси процеса, анализирање и унапређење перформанси процеса.

Планирање циљаних нивоа перформанси процеса представља дефинисање циљаних нивоа перформанси за сваки идентификовани процес и активност.

Мерење перформанси процеса се спроводи на основу дефинисаних мерила са циљем квантификовања перформанси процеса.

Анализирање перформанси служи за утврђивање одступања оствареног нивоа перформанси у односу на циљани ниво перформанси.

Унапређење перформанси подразумева предузимање мера на побољшању перформанси процеса, односно смањењу одступања остварених перформанси у односу на циљане перформансе.

2.2.3. Анализа модела за мерење перформанси

Мерење перформанси врши се путем одговарајућег одабраног модела, који пружа научни, стручни и математички оквир за анализу прикупљених података. Модел за управљање перформансама омогућавају менаџменту лакши приступ управљања перформансама.

Први модели за управљање перформансама су развијани крајем 80-тих година двадесетог века, где се и данас ради на њиховом унапређењу и модификацијама сходно потребама.

Анализом литературе најчешће коришћени модели за мерење перформанси су:

- Метод обавијања података (енг. *Data envelopment analysis* - скр. DEA), метода је развијена за мерење ефикасности у непрофитном услужном сектору. Ефикасност зависи од квалитета и обима пружене услуге. Веза између улаза и излаза из система је веома комплексна и често је немогуће описати (*Charnes* и остали, 1978).
- Модел управљања перформансама (*Sink i Tuttle*, 1989). Модел се заснива на управљању комплексним релацијама између следећих перформанси: ефективност, ефикасност, квалитет производа, продуктивност, квалитет радног окружења, иновативност и профитабилност. Модел не сагледава флексибилност и купца.
- Матрица перформанси (*Keegan* и остали, 1989). Овај модел разматра финансијске и не финансијске перформансе са једне стране, и интерне и екстерне перформансе предузећа са друге стране.
- Командна табла (*De Guerny* и остали, 1990). Модел развијен са циљем да успостави хијерархију међусобно повезаних мера и степенује мере према различитим организационим нивоима, као и да функције и дивизије организације позиционира у оквире укупне стратегије организације.
- Пирамида перформанси (*Judsona*, 1990). Модел има за циљ да кроз организацију повеже стратегију са њеним циљевима, превођењем циљева одозго на доле, мери перформансе одоздо на горе.
- Трошкови према активностима (енг. *The Activity Based Costing* - скр. ABC). Модел су развили *Cooper i Kaplan* (1991) са циљем да се реше општи трошкови производње. Основна намена овог модела је да се обезбеди увид у укупне трошкове одређеног пословног процеса. Применом ABC модела утврђују се сви индиректни трошкови који настају у процесу.
- Карта уравнотежених показатеља (BSC). Модел је развијен од стране *Kaplana i Nortona* (1996). У моделу су дефинисане четири основне перспективе перформанси: финансијска перспектива, перспектива интерних пословних процеса, перспектива купца и перспектива иновативности и учења.
- SCOR модел (енг. *Supply Chain Operations Reference*, 1997) је креиран од стране *Савета за управљање ланцима снабдевања* (приступљено 02.02.2024). Модел даје теоријски оквир који повезује пословни процес, мере перформанси, најбољу праксу и технолошке карактеристике. Састоји се од три процесна нивоа и темељи се на пет кључних реусрса.
- Модел европске фондације за управљање квалитетом (енг. *European Foundation for Quality Management* - скр. EFQM) дефинише основне принципе пословања којима се унапређују перформансе предузећа (приступљено 12.12.2023). Основни принципи су (*Biazzo i Garengo*, 2012): оријентисаност на резултате, оријентисаност на купце, лидерство, управљање кроз процесе и чињенице,

развој и ангажовање запослених, континуално учење, иновације и побољшања, развој партнерства и корпоративна друштвена одговорност.

Област примене модела за мерење перформанси је јако широка, за потребе дисертације анализирана је следећа литература:

- проблем управљања одржавања парка градског превоза помоћу BSC модела (*Macián* и остали, 2019).
- мерење перформанси одржавања који је усклађен са визијом компаније и стратегије одржавања на свим нивоима (*Jalham i Masarweh*, 2024).
- Проблем побољшања ефикасности у производним индустријама (*David* и остали, 2024).
- модел за оптимизацију енергетске ефикасности кроз превентивно одржавање и управљање пројектима (*Ebirim* и остали, 2024).

Анализа мерења перформанси путем модела представља устројен процес уочавања законитости и правилности међу нижим хијерархијским структурама перформанси, чиме се извлаче есенцијални подаци за формирање закључака и њихово квантификовање. Моћ модела огледа се у опробаном окружењу у коме се одвија анализа, чиме се обезбеђује поштовање основних фундаменталних, стручних и методолошких принципа приликом проучавања материје.

2.3. Основна теоријска разматрања о кључним индикаторима перформанси

Да би се мериле перформансе процеса, потребно је одредити квалитативне и квантитативне показатеље KPI-а. KPI-ови су кључни за садашњи и будући успех једне организације. На даље су дата различита тумачења KPI-ова која могу да се нађу у релевантној литератури.

KPI-ови представљају скуп мера које су кључне за садашњи и будући успех једне организације.

KPI се дефинишу као квалитативни или квантитативни показатељи који представљају успешност остварења заданог циља (*Pritchard* и остали, 1990).

KPI-ови се дефинишу као успешност одвијања активности унутар неког процеса, односно као резултат реализације (излаза) процеса у односу на планирани исход (*Hronec*, 1993).

KPI-ови су квантитативни или квалитативни показатељи помоћу којих се, директно или индиректно, може проценити или измерити ниво или степен остварења одређеног циља, као и брзина, односно време или рок остварења циља (*Harrington*, 2006).

KPI-ови су један од механизма како доћи до задатог циља (*Turajlić* и остали, 2009).

KPI-ови представљају вредан извор информација о томе како се стратешки циљеви превode у циљеве процеса и подстичу ефективну контролу процеса (*Rosemann i Brocke*, 2010). Овај аутор сматра да KPI-ови могу да укажу шта треба да се уради да би се драстично повећала успешност.

KPI-ови су дефинисани као мере успеха целе организације и утврђује у којој мери се остварује задати циљ (*Sikavica i Hernaus, 2011*).

KPI-ови представљају квантитативну меру, која је унапред пројектована/репројектована и рефлектује критичне факторе успеха једне организације (*Parmenter, 2015*). Овај аутор сугерише да KPI-ови омогућавају менаџменту организације да мери напредак у остварењу постављених циљева и задовољењу потреба заинтересованих страна.

KPI-ови карактеришу следеће особине (*Centre for Human Resources Development and Menagement, приступљено 02.04.2024. године*): нису финансијске мере (нису изражене новчаним јединицама), мере се учестало (нпр. на одређене сате, дневно, недељно), представљају предмет интересовања за директоре и руководство; јасно показују запосленима шта треба да раде; представљају мере које преносе одговорност на ниже хијерархијске нивое; имају значајан утицај на успех и перспективу организације и охрабрују одговарајуће деловање (осигуравају позитиван утицај на перформансе).

Из напред наведених дефиниција и карактеристика KPI-ова, изводи се закључак да су KPI-ови показатељ успешности реализације процеса или успешност функционисања организације.

Да би KPI били меродавни, потребно је да KPI задовоље следеће основне критеријуме (*Hronес, 1993*):

- довољно тачни,
- лако разумљиви,
- правовремени,
- оријентисани на акције, и
- да њихова имплементација не захтева превелика новчана улагања.

KPI треба изабрати само за оне циљеве, визије и стратегије организације или процеса, који ће дати увид о ефикасности и ефективности процеса (*Franceschini* и остали, 2007; *Centre for Human Resources Development and Menagement, приступљено 02.04.2024. године*). Из наведеног се може закључити да није пожељно оцењивати и мерити све KPI, јер такав приступ може довести до непотребног губљења времена и ресурса. Другачије речено, не сме се мерити успешност процеса само да би се нешто мерило.

а) Врсте кључних индикатора перформанси

У литератури се могу наћи бројни радови у којима су KPI-ове сходно циљевима које треба постићи и сходно намени класификовани на различите начине. На даље су дате неке најчешће коришћене класификације KPI-ове.

KPI-ови се деле на (*Tenper i DeToro, 1997*):

- индикаторе усмерене на ефективност процеса,
- индикаторе усмерене на ефикасност процеса и
- индикаторе усмерене на резултате процеса.

У зависности од нивоа декомпоновања KPI-ови се деле на (*Harmon, 2005*):

- екстерне и
- интерне.

Према намени КРІ-ове се класификује на (*Harmon*, 2005):

- индикаторе промене и
- индикаторе стања.

КРІ-ови су подељени на (*Franceschini* и остали, 2007):

- иницијалне,
- прелазне и
- финалне.

б) Област примене модела за мерење кључних индикатора перформанси

Примена модела за мерење КРІ-ова је заступљена у разним областима, за потребе овог истраживања издвојени су следећи радови:

- КРІ оквир који интегрише управљање одржавањем са производњом, планирањем и контролом силоса (*Rødseth* и остали, 2015).
- модел који прати следеће КРІ: трошкове, квалитет и производне перформансе (*Raza* и остали, 2016).
- модел за мерење КРІ одржавања ветропаркова (*Gonzalez* и остали, 2017).
- модел за мерење КРІ одржавања на основу података који се добијени из процеса одржавања (*Brundage* и остали, 2018).
- интегрисани оквира за мерење перформанси одржавања у рударској индустрији где су предложени КРІ подељени на техничке који су повезани са средствима/машинама и КРІ који управљају процесом одржавања (*Lin* и остали, 2024).
- процена и индентификација КРІ-ова коришћењем FlexSim софтвера у циљу повећања ефикасности, побољшања квалитета, смањења трошкова одржавања и повећање задовољства купаца (*Aliyu* и остали, 2024).
- модел за прорачун цене одржавања где су КРІ-ови: поузданост, доступност, фактор сигурности и набавка резервних делова међу важнијим карактеристикама које се мере (*Abbass*, 2024).

Број КРІ-ова које треба разматрати су дефинисани у многим радовима који могу да се нађу у литератури:

- број КРІ-ова за мерење перформанси процеса не треба да буде већи од двадесет (*Kaplan i Norton*, 1993),
- потребно је 3-5 индикатора за кључне процесе, а 5-8 за потпроцесе (*Enstrom*, 2002).
- довољно је пет КРІ-ова посматрати за мерење перформанси процеса (*Parmanter*, 2015).

Циљ је утврдити што је могуће мањи број кључних индикатора, да би се задржао фокус само на најважнијим активностима (*Sikavica*, 2011).

2.4. Основна разматрања о HIPO методи

Сложеност процеса ремонта захтева добро познавање процеса, јер укључује различите улазе, излазе из процеса и заинтересоване стране. За боље разумевање процеса ремонта потребно је реализовати декомпоновање процеса на потпроцесе, сагледати узајамне-последичне везе између њих, сагледати ток кретања средства и ток кретања информација кроз технолошки процес.

Један од модела за декомпоновање процеса јесте хијерархијски приступ HIPO који је развијен седамдесети година 20. века (*IBM Corporation*, 1974).

HIPO метода захтева системску анализу процеса, што подразумева проучавање процеса како би се идентификовао његов циљ и сврха, креирао систем и процедуре које ће их ефикасно постићи (*Lonnie*, 2007).

Предност HIPO методе је што погодује хијерархијски структурираним процесима, прати ток информација кроз процес, идентификује процедурални ток од улаза у процес до излаза из процеса, прати односе између потпроцеса и унутар самих потпроцеса. Такође HIPO метода олакшава идентификацију грешака односно проблема у систему, јер се процес декомпонује на потпроцесе, лакше је изоловати и идентификовати извор проблема. На овај начин смањује се време за отклањање проблема и самим тим се побољшава укупан квалитет процеса.

HIPO метод је коришћен за пројектовање система (*Katzan*, 1976); за интегрисање дизајна програма (*Stay*, 1976); у рачунарству за програмирање (*Martin i McClure*, 1985); за развој захтева, дизајнирање и подршку при имплементацији експертског система за симулацију аутоматизованог састанка (*Mary i Charles*, 1986); за анализу и дизајн производа (*Davis*, 1998), за валидацију захтева информационог система (*Nosek i Schwartz*, 1988).

Такође HIPO метод је коришћен код унапређења система производ - услуга (*Durugbo* и остали, 2011).

2.5. Моделовање неизвесности

У ситуацијама када није могуће знање о систему и/или процесу представити на прецизан начин, тада могу да се користе лингвистички искази који се често у литератури означавају као лингвистичке променљиве. Лингвистичка променљива је променљива чије вредности нису бројеви, већ речи и реченице у природном или вештачком језику (*Zadeh*, 1975). Такође лингвистичка вредност се одликује синтаксичком вредношћу или ознаком, или семантичком вредношћу или ознаком (*Zadeh*, 1975). Ознака је реч или реченица која припада скупу лингвистичких израза, а значење је фази подскуп интервала поверења односно област интересовања. Пошто су речи мање прецизне од бројева, концепт лингвистичке променљиве треба да обезбеди мерење приближне карактеризације феномена, који су превише сложени или слабо дефинисани да би били погодни за опис у квантитативном смислу (*Herrera* и остали, 2000). Лингвистички приступ у експертском оцењивању уводи флексибилнији оквир представљања података на директнији и адекватнији начин када се исти не могу изразити прецизно.

Постоје два начина дефинисања лингвистичких израза и њихове семантике. Први начин дефинисања лингвистичких израза и семантике је представљање фази бројевима

описаним функцијама припадања на основу параметара и фази правила. Моделирање лингвистичких термина може да се изврши применом теорије фази скупова. Теорија фази скупова и фази логика се заснива на природном језику који се користи за споразумевање. Други начин дефинисања лингвистичких израза и семантике је представљање на интервалу (*Herrera* и остали, 2000).

Лингвистички израз може се генерисати од примарних израза као што је: висок, средњи, низак; модификатор: није, много, веома, прилично, мање-више; релације: више од, ниже од; и везе: и, или, али. Често се примарни изрази поистовећују са основним вредностима лингвистичке променљиве, док се квантификатори и релације збирно називају модификаторима. Применом модификатора од основних лингвистичких вредности граде се сложени лингвистички изрази (*Subašić*, 1997).

Семантика скупа лингвистичких израза може бити: семантика заснована на функцији припадности и семантичком правилу, семантика заснована на интервалу и комбинована семантика (*Herrera* и остали, 2000).

Семантика заснована на фази скупу подразумева да је значење сваког лингвистичког израза дато помоћу фази подскупова дефинисаних на интервалу који је описан помоћу функције припадности (*Herrera* и остали, 2000).

2.5.1. Моделовање неизвесности применом теорије фази скупова

Термин фази је енглеског порекла и означава магловит, нејасан и замућен појам. У српском језику термин фази има многа значења као што су: непрецизан, нејасан, неодређен, двосмислен, расплутан и магловит. У домену науке овај термин се користи од 1965. године, када је *Zadeh* (*Zadeh*, 1965) сугерисао да у ситуацијама када знање о проблему није могуће репрезентовати на прецизан начин треба дозволити коришћење непрецизних констатација. *Zadeh* је творац принципа некомпатибилности, које гласи: „Што се ближе приближавамо реалном проблему, решење проблема све више постаје фази.“

Фази приступ решавања проблема пружа једноставније и човеку јасније лингвистичке квалификације које проблем описују релевантније. У математичкој логици, исказ може бити истинит или неистинит. У фази приступу вредност исказа може да се опише многобројним лингвистичким исказима као на пример: истинит, мање истинит, делимично истинит, па све до неистинит (*Subašić*, 1997). Дакле, у теорији фази скупова исказ је истинит у извесном стању. Фази идеју је још разматрао и Аристотел, где је бранио принцип контрадикције која се појављује у математичкој логици и закон искључења средине (нпр. оно што је тачно није нетачно, оно што је црно, није бело), уз један додатак - у извесном стању (нпр. ако неко није леп не значи да је ружан, ако нешто није црно, не значи да је бело) (*Subašić*, 1997). Термин нејасности користио је *Maks Blek* 1937. године, где је предложио представљање нејасноће и логике са више вредности, односно тада је први пут дефинисано нешто што се данас назива фази функција припадности.

Примена теорије фази скупова, фази закључивања, фази контролера у индустрији, започета је седамдесетих година XX века, у Јапану од стране професора *Toširo Terano* и Лондону од стране професора *Mamdani*.

Фази приступ има своје одлике као што су: непрецизност, постепеност, употреба квалитативних описа и умећа стручњака (*Zadeh*, 1965 i 1983; *Dubois i Parde*, 1978 i

1979; *Zimmermann*, 1996). Фази приступ у моделирању неизвесности је нашао примену у фази системима за доношење одлука, фази бази података, фази експертским системима, фази системима за квалитативно моделирање, фази анализи података, препознавању облика и обради слике, изради интелигентних корисничких интерфејса у области рачунарства и другим областима.

У почетку се фази логика примењивала углавном у техници са циљем решавања разних практичних инжењерских проблема. Данас своју примену нашла у областима попут вештачких интелигенција (*Pokorni*, 2021; *Milošević*, 2021).

Фази приступ решавања проблема пружа једноставне и човеку јасније лингвистичке квалификације које проблем описују релевантније. Један од начина који се најчешће користи за моделовање лингвистичких квалификација јесу разни типови фази бројева. Највећа разлика између класичног и фази скупа је та да класични скуп увек има јединствену функцију припадности, док код фази скупа постоји бесконачно много различитих функција припадности. Ови типови фази бројева су:

- тип 1 (*Dubois*, 1978, 1979) и (*Zimmermann*, 1996) примењени у литератури (*Wang* и остали, 2021; *Ban* и остали, 2020; *Tadić* и остали, 2014; *Soner* и остали, 2022),
- тип 2 (*Mendel*, 2003) примењени у литератури (*Qin* и остали, 2015; *Ghorabae* и остали, 2015; *Soner* и остали, 2017; *Liu* и остали, 2018),
- Z-бројеви (*Zadeh*, 2011) примењени у литератури (*Ye*, 2021; *Du* и остали, 2021; *Abdullahi* и остали, 2020; *Qi* и остали, 2022; *Sari i Kahraman*, 2021),
- интуитивни фази бројеви (*Atanassov*, 1983 i 1986) примењени у литератури (*Sokolova i Georgievich*, 2016; *Milovanović* и остали, 2021; *Abbasi*, 2021; *Arunodaya* и остали, 2020; *Tjaša i Petra*, 2021; *Kaur*, 2014).

Облици наведених фази бројева су најчешће представљени функцијом припадности троугаоног и трапезоидног облика, а могу се срести и облици параболе, логистичке криве итд.

Други начин за моделовање непрецизних података јесте помоћу интервала. Интервал дефинише доносиоц одлуке где лингвистичке квалификације распоређује на одређеном домену.

У овој докторској дисертацији све егзистирајуће неизвесности су моделоване помоћу FFS-а, па стога су ови бројеви на даље детаљније представљени, као и њихова алгебра.

2.5.2. Основна разматрања FFS

Доношење одлука на бази већег броја различитих података и информација представља сложен и захтеван процес. Процес одлучивања се додатно усложњава када се у њега унесу различити ставови и мишљења стручњака или се располаже са непотпуним информацијама.

Ферматан фази број је развијен од стране аутора *Senapati i Yager* (*Senapati i Yager*, 2019) са циљем да се унапреди постојеће моделовање неизвесности. FFS представљају надоградњу интуитивних фази бројева (енг. *Intuitive Fuzzy Sets* - скр. IFS) које је развио *Atanassov* 1983 године (*Atanassov*, 1983). У зависности од облика функције припадности односно функције неприпадности, интуитивни фази бројеви могу имати троугаони,

трапезоидни и друге облике као што има фази број типа 1 и 2. Код интуитивног фази броја важи правило да ако је функција припадања има једну врсту облика, функција неприпадања мора имати исти такав облик.

Интуитивни фази број је погодан за моделовање непрецизних података када је потребно укључити и процену несигурности у дату оцену. На бази интуитивних фази бројева развијени су: Питагорин број (интуитивни фази број другог реда), FFS (интуитивни фази број трећег реда), интуитивни фази број q -реда (*q-rung orthopair*) где је $q > 0$, интуитивни фази број p, q -реда (*p, q-rung orthopair*) где је $p > 0, q > 0$.

У литератури могу да се нађу бројни радови у којима су различити типови неизвесности и непрецизности моделирани помоћу FFS-a у различитим доменима:

- индустријски домен (*Saraji i Streimikiene, 2021; Akram i Niaz, 2022; Saha и остали, 2023; Zeng и остали, 2023; Aruchsamu и остали, 2024; Shihua i Jun, 2024; Tsai и остали, 2024; Görçün и остали, 2024*),
- заштита животне средине (*Wang и остали, 2019; Seikh i Chatterjee, 2024; Zhao и остали, 2024; Pan, 2024*),
- економски домен (*Duygu и остали, 2022; Lukic, 2023*),
- управљање медицинским системом (*Shahzadi i Akram, 2021; Kirisci, 2023; Kirisci i Necip, 2023; Akin i Hatice, 2023*),
- логистика и управљање ланцима снабдевања (*Verma, 2021; Akram и остали, 2022g; Aro и остали, 2022; Mishra и остали, 2022a; Wei и остали, 2022; Alkan i Kahraman, 2022; Yang и остали, 2022; Rong и остали, 2022; Deliktas и остали, 2023; Farid и остали, 2023; Fahmi и остали, 2023b; Çolak i Lezki, 2023; Pan и остали, 2023b; Mateen и остали, 2023; Amman и остали, 2023*),
- остало (*Aydemir i Gunduz, 2020; Changlin i Juhong, 2021; Verma, 2021; Gul i Fatih, 2022; Akram i Amjad, 2022; Akram i Muhiuddin, 2022; Akram и остали, 2022c; Alahmadi и остали, 2023; Akram i Bibi, 2023; Ruan и остали, 2023; Ganai и остали, 2023; Huang и остали, 2023; Qin и остали, 2023; Korucuk и остали, 2024*).

Експанзија примене FFS почиње од 2022. године и највећи пик се бележи у 2023/24. години. Највећи број истраживања се може наћи у часописима који се баве применом вештачке интелигенције у процесу доношења одлука као што су *Engineering applications of artificial intelligence, Expert systems with applications, Granular computing, и Soft computing* и слични.

Лингвистички изрази играју значајну улогу у процесу прикупљања података. Број лингвистичких израза који се користи у литератури је 5, 7, 9, 10 и 11, а највише је коришћена скала са 9 лингвистичких израза. Лингвистички изрази су најчешће коришћени за одређивање пондера експерата, оцене критеријума и процени алтернатива. Избор лингвистичке скале FFS зависи од специфичности одлуке и жељеног нивоа грануларности за оцену критеријума. Лингвистичке скале са 9, 10 и 11 тачака пружају веће могућности, улазе више у детаље, али могу одузети доста времена ако се ради о великом броју критеријума. Са друге лингвистичке скале од 5 тачака нуде једноставну употребу и погодне су за једноставније сценарије доношења одлуке. Лингвистичка скала од 7 тачака представља баланс између наведених скала, нудећи практичан компромис између детаља и једноставности. Избор Ферматан фази скале

треба да се заснива на специфичности проблема, компромиса између детаља и сложености програмирања.

У литератури се могу наћи различити облици односно форме представљања FFS:

- на интервалу (енг. *Interval-valued FFS*) у радовима: (Jeevaraj, 2021; Akram и остали, 2022g; Rani и Mishra, 2022; Rani и остали, 2022a; Alkan и Kahraman, 2022; Ilieva и Yankova, 2022; Moktadir и Ren, 2023b, a; Mondal и остали, 2023; Deveci и остали, 2023a; Hezam и остали, 2023b; Shahzadi и остали, 2023; Görçün и остали, 2023a; Biswas и остали, 2023; Luqman и Shahzadi, 2023; Mishra и остали, 2023b; Seikh и Mandal, 2023; Bouraima и остали, 2023; Qin и остали, 2023; Kirişci, 2023; Kirişci и Simsek, 2023; Gokasar и остали, 2023; Qi и остали, 2024).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што је тачније и флексибилније моделовање неизвесности као и примена на широк спектар решавања проблема, док је мана та што је потребно више времена за примену алгебре и осетљивост на непотпуне информације.

- хезитан FFS (енг. *Hesitant FFS*) у радовима: (Wang и остали, 2019, 2023b; Luo и Liu, 2022; Lai и остали, 2022; Sha и Shao, 2023).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су ефикасни у руковању са оклевањем доносиоца одлуке и отпорни су на непотпуне информације, док је недостатака тај што валидација модела може бити изазовна и коришћење променљивих степена чланства може унети несигурност у моделовању неизвесности.

- облик тип – 2 FFS (енг. *2-Tuple FFS*) у радовима: (Akram и остали, 2022c,d, 2023b, a; Akram и Bibi, 2023).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су прецизнији и флексибилнији у моделовању неизвесности, док је мана та што се не може узети обзир неутралност при доношењу одлуке као и немогућност моделовања m-поларних облика података.

- трапезоидног облика (енг. *Trapezoidal FFS*) у раду (Fahmi и остали, 2023b);

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су прецизнији и флексибилнији у моделовању неизвесности и користе се код сложених података, док је мана та што не постоји довољно развијених апликација за коришћење.

- троугаоног облика (енг. *Triangular FFS*) у раду (Akram и остали, 2023c; Fahmi, 2023a).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су прецизнији у моделовању неизвесности, док је мана та што не постоји довољно развијених апликација за коришћење.

- лингвистичка скала (енг. *FF Linguistic Sets*) у радовима (Akram и остали, 2022e; Chen и остали, 2022).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што нуде велику флексибилност у моделовању неизвесности, док је мана та што је теже руковати ако атрибути имају приоритете у доношењу одлуке.

- меког облика (енг. *FF Soft Sets*) у радовима: (Zeb и остали, 2022; Akram и остали, 2022a).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су резултати моделовања прецизнији, тачнији и поузданији, док је мана та што је потребно више времена за прорачун ако се број података повећава, као и промена ранга алтернатива ако се додају или уклањају параметри.

- кубни FFS (енг. *Fermatean Cubic Fuzzy Sets*) у радовима: (Niu и остали, 2022; Rong и остали, 2022).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што успешно превазилазе недореченост и неизвесност, док је мана та што у обједињавању експертског мишљења међусобна веза кубних FFS се не разматра.

- квази ранг FFS (енг. *3,4-Quasirung Fuzzy Set*) у раду (Gul i Ak, 2022).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што смањују непрецизност и флексибилни су у коришћењу података, док је недостатак тај што је слаба интеграција са MCDM методама као и недостатак апликација за коришћење.

- груби FFS (енг. *Rough-FF*) у радовима (Kao и остали, 2022; Albahri и остали, 2023).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су флексибилни у моделовању неизвесности, док је мана та што не постоји довољно развијених апликација за коришћење.

- интервал-колебљив облик (енг. *Interval-valued Hesitant FFS*) у раду (Liu и остали, 2022).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што се баве сложенијим и реалистичнијим проблемима као и лаким рачунањем, док је недостатак у сложености поступка оцењивања.

- N-меки облик (енг. *FF N-Soft Sets*) у раду (Akram и остали, 2022b).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што се баве недореченошћу и периодичношћу параметризованих степенских информација, док је мана што губи флексибилност ако кубни збир амплитуда или фазних чланова прелази вредност један.

- биполар меки облик (енг. *FF Bipolar Soft Set*) у раду (Ali i Ansari, 2022).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су резултати у моделовању неизвесности тачнији, док је мана та што је потребно више времена за прорачун ако се број података повећава, као и промена ранга алтернатива ако се додају или уклањају параметри.

- облик заснован на Dempster–Shafer теорији (енг. *Dempster–Shafer Theory-Based FFS*) аутора (Deng i Wang, 2021).

Предност коришћења оваквог облика FFS је та што су резултати у моделовању неизвесности тачнији и смањен је губитак информација, док је мана та што не постоји довољно развијених апликација за коришћење.

Методе обједињавања су јако битан део процеса доношења квалитетне оцено, јер служе да обједине различите процене дате у облику FFS. У литератури се може наћи различити облици обједињавања FFS, као што је:

- алгебарски оператори: FFLWA, FFLWG (*Liu* и остали, 2019a); FFWA, FFWG, FFWPA, FFWPG (*Senapati i Yager*, 2019b):
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност,
 - предност: примењиван у различитим областима, флексибилан и једноставан за коришћење,
 - ограничење: не може се узети обзир интеракција између функција припадности и не припадност.
- Намачер оператор (*Hadi* и остали, 2021; *Akram* и остали, 2022d; *Deveci* и остали, 2023a; *Shahzadi* и остали, 2023)
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност,
 - предност: флексибилност и ефективност,
 - ограничење: недостатак својства параметризације.
- Јагер оператор (*Garg* и остали, 2020; *Simic* и остали, 2022c)
 - особине: монотоност, ограниченост и сводљивост,
 - предност: прецизнији резултати у MCDM, флексибилан и једноставан за коришћење,
 - ограничење: промена параметара утиче на резултат вредности.
- Наму оператор (*Akram* и остали, 2022c, e)
 - особине: монотоност и омеђеност,
 - предност: омогућава динамичку одлуку процеса и разматра корелацију између различитих параметара,
 - ограничење: недостатак апликација.
- Ејнштајн оператор (*Rani i Mishra*, 2021; *Rani* и остали, 2022a)
 - особине: монотоност и омеђеност,
 - предност: флексибилност, ефективност и јачи од алгебарских оператора,
 - ограничење: не може се узети обзир интеракција између функција припадности и не припадност.
- Домби оператор (*Shit i Ghorai*, 2021)
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност.
 - предност: флексибилност са општим параметрима,
 - ограничење: захтеван за рачунање.
- Пауер оператор (*Senapati i Yager*, 2019b; *Verma*, 2021)
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност,
 - предност: разматра корелацију између аргумената,
 - ограничење: недостатак апликација.
- Ацзел-Алсина оператор (*Rong* и остали, 2022; *Haq* и остали, 2023)
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност.
 - предност: већи консензус и прилагодљивост,
 - ограничење: не узима у обзир повезаност критеријума.
- Швајцер-Склар оператор (*Wei* и остали, 2022)
 - особине: ограниченост и комутативност,
 - предност: флексибилност и ефективност,

- ограничење: не узима у обзир доследност експерата.
- Maclaurin симетрични оператор (*Mishra* и остали, 2022b)
 - особине: монотоност и комутативност,
 - предност: реалнији процес обједињавања и разматрања међусобних односа више атрибута,
 - ограничење: недостатак апликација.
- Frank оператор (*Tan* и остали, 2022)
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност,
 - предност: флексибилност и ефективност,
 - ограничење: недостатак апликација.
- Heronian оператор (*Rani* и остали, 2022b; *Mishra* и остали, 2023b)
 - особине: монотоност и омеђеност,
 - предност: разматра корелацију међу аргументима,
 - ограничење: недостатак апликација.
- Bonferroni оператор (*Wang* и остали, 2019; *Chakraborty i Saha*, 2023)
 - особине: монотоност, ограниченост и комутативност,
 - предност: рефлектује међузависност појединачних критеријума,
 - ограничење: захтеван за рачунање.

У поређењу FFS са традиционалним фази бројевима прецизнији су у доношењу одлука захваљујући концепту одређивања дистанци; погоднији су за смањење неизвесности; пружају прецизније резултате у поређењу са постојећим методама; флексибилнији су у процени захваљујући степену припадности односно не припадности; лакше се решавају сложеније информације.

Слабости FFS се огледа у следећем: теже је одредити дистанце са мало доступних информација; ограничена је доступност софтверских алата у односу на традиционалне фази бројеве; повећава се сложеност за више од једне функције припадности у односу на традиционалне фази бројеве.

Анализом литературе је уочен недостатак анализе осетљивости FFS, што може повећати ефикасност и оправданост примене FFS, предлагане интеграције са MCDM превазилази слабости традиционални MCDM.

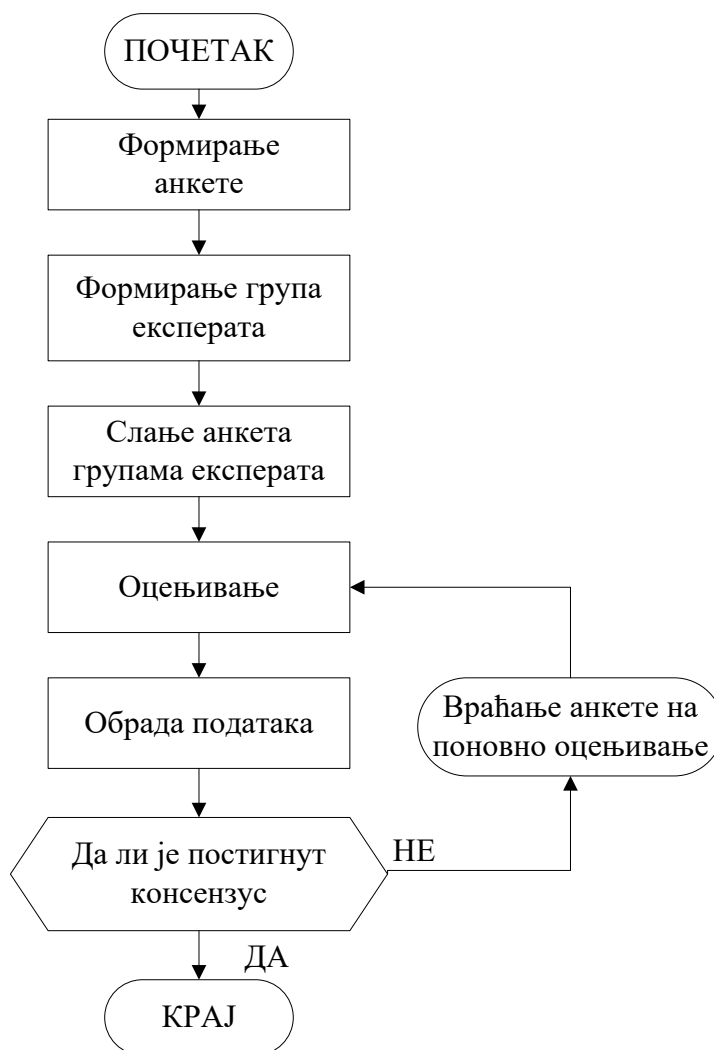
2.6. Делфи метода проширена са теоријом фази скупова

У овој секцији биће објашњен основни концепт Делфи методе и анализирани радови у којима је Делфи метода проширена са теоријом фази скупова.

Делфи метода као један од квантитативних модела за доношење одлуке у којој учествује група експерата, нашла је широку примену код решавања сложених управљачких проблема. Прве идеје доношења одлуке уз усаглашавања експерата јавиле су се педесетих година на пројекту безбедносне студије. Након тога почиње развојна фаза Делфи методе где се дефинишу разне варијанте Делфи метода према типовима проблема са којима су се истраживачи сусрели, сугеришући на њену примену у решавању комплексних проблема јер обезбеђује релевантне одговоре, не захтева физичко присуство експерата, може укључити већу групу експерата, праћењем процеса оцењивања и стављањем резултата из претходних итерација доприноси дубинско разумевање проблема.

Основну карактеристику Делфи методе представља: анонимност, поновљене итерације, контрола повратних информација и статистички групни одговор (*Rowe i Wright, 2001*). Делфи метода је добра јер задржавањем анонимности експерата избегава негативан утицај критицизма иновантности и креативности групе (*Milićević i Župac, 2012*). Методом управља модератор који једини има независну комуникацију са члановима групе.

Делфи метода се формира за потребе доношења одлуке уз постизање консензуса. Концепт Делфи методе дат је на слици 2.2.



Слика 2.1 – Концептуални модел Делфи методе

Делфи метода је проширена метода „панел дискусија“, која представља помоћни алат менаџменту за доношење одлуке. У процесу доношења одлуке учествују експерти. Важно је напоменути да експерти не знају ко све учествује у Делфи методи. Експертима се достављају анкете са јасно дефинисаним питањима. Експерти своје одговоре у виду оцена достављају писаним путем. На овај начин је избегнута лоша страна панел дискусије. Оцене експерата су засноване на знању, искуству и тренутним информацијама. Оцене се обрађују применом статистичких метода. Добијено обједињено мишљење се доставља експертима писаним путем. У другој итерацији ове методе експерти могу, али не морају да коригују своје процене на основу осредњег мишљења свих експерата. Затим се поново користе методе за обједињавање мишљења

експерата. У многим случајевима може да се претпостави да је итеративни поступак завршен у другој итерацији.

Донесена одлука мора имати подршку већине експерата. Усаглашеност експерата око донесене одлуке се постиже кроз итерације, али то назначи да треба ићи у бесконачно итерација. Заустављање итерација у Делфи методи се решава применом консензуса.

Консензус представља динамичан начин усаглашавања мишљења групе експерата, где се уместо простог гласања проналази решење које би сви експерти подржали. Консензус је добар јер сваки експерт има снагу да доноси свој суд, и као такво може донети промену мишљења и код других експерата. Консензусом се штити мишљења мањине експерата, која не могу бити игнорисана, већ се проналази решење које задовољава њихове интересе. Постићи пун консензус често није случај у пракси. Алтернативни приступ је употреба мекшег облика консензуса, који боље представља људску перцепцију суштине консензуса. Меки консензус се реализује увођењем прага сагласности међу испитаницима.

У анализи литературе могу се пронаћи различити приступи за постизање консензуса, неки од најчешће коришћених начина дат је у табели 2.1.

Табела 2.1. – Начини постизања консензуса и праг консензуса

Аутор	Начин постизања консензуса	Праг консензуса	Област примене
<i>Habibi и остали, 2015.</i>	Ликерова скала	≤ 0.3	Развој модела за предвиђање и препознавање критеријума
<i>Hierro и остали, 2021.</i>	Фази рангирање	$\geq 80\%$	Математички модел за одређивање консензуса заснованог на фази рангирању
<i>Mohammadfam и остали, 2022.</i>	Ликерова скала	≤ 0.2	Идентификовање узрочно-последичних веза које утичу на пројектовање рудника
<i>Lin и остали, 2023.</i>	Ликертова скала	≤ 0.2	Идентификовање релевантних тема и нивоа компетенције за науку о стоматолошкој опреми
<i>Sousa и остали, 2024.</i>	Ликертова скала	≤ 0.5	Испитивање утицаја Ковид-19 на одрживи развој Бразила (индустрија, иновације и инфраструктура, одржива потрошња и производња)
<i>Milovanović и остали, 2024.</i>	Одређивањем стандардне девијације	≤ 0.25	Постизање консензуса за релативне важности потпроцеса одржавања техничких система

Најчешће коришћен начин постизања консензуса јесте примена Ликерове скале. Праг за постизање консензуса се креће од 0.2 до 0.5. Анализом литературе показано је да са мањим прагом за постизање консензуса потребан већи број итерација у Делфи методи. С тога, за потребе модела у овој дисертацији, за праг консензуса је узета вредност стандардне девијације која је $\sigma \leq 0.25$ (Milovanović и остали, 2015).

У литератури могу да се нађу многи радови у којима је Делфи метода комбинована са теоријом фази скупова. Неки од тих радова биће детаљније анализирани у Табели 2.2.

Табела 2.2. – Начини моделовања неизвесности и агрегације резултата

Аутор	Број лингвистичких израза/тип/домен	Број експерата/ обједињавање	Матрица сагласности
<i>Habibbi и остали, 2015.</i>	5 и 7/TFNs и TRFNs/[0-1]	5/аритметичка средина	crisp
<i>Wang i Yeo, 2017.</i>	7/TFNs/[0-10]	15/аритметичка средина	рангирање
<i>Komatina и остали, 2021.</i>	5/IT2TFNs/[0.9-9]	9/геометријска за IT2TFNs	crisp
<i>Hierro и остали, 2021.</i>	4/ TFNs/[0-10]	13/аритметичка за TFNs	crisp
<i>Tuni и остали, 2023.</i>	5/TFNs/[0-1]	18/аритметичка за TFNs	дефазификација помоћу централне гравитације (eng. Centre of Gravity - COG)
<i>Lin и остали, 2023.</i>	5/ TFNs/[0-1]	62/аритметичка за TFNs	crisp
<i>Sousa и остали, 2024.</i>	5/TFNs/[0-1]	15/ аритметичка за TFNs	дефазификација методом центра површине (eng. Centre of Area - COA)
<i>Naghipour и остали, 2024.</i>	5/TFNs/[0-1]	17/аритметичка за TFNs	crisp

Анализом литературе је показано да се у фази Делфи методи најчешће за моделовање користи троугаони фази број, док за обједињавање резултата се користи аритметичка средина.

Примена Делфи методе је јако широка и може се наћи у следећим истраживањима:

- предвиђање продаје у индустрији (*Chang i Wang, 2006*);
- приступ стратешком планирању на примеру Индијске индустрије (*Prusty и остали, 2010*);

- конструисање модела за мерење перформанси индустрије полупроводника (*Hsu* и остали, 2011);
- идентификовање индикатора перформанси безбедности на путу (*Ma* и остали, 2011);
- предвиђање статистичких временских серија на студији случаја тржишта сувог расутог терета (*Duru* и остали, 2012);
- одређивање ограничења која утичу на будућу величину бродских контејнера (*Gomez* и остали, 2015);
- одређивање елемената E-Portfolio у процесу учења помоћу фази Делфи анализе (*Mohamad* и остали, 2015);
- моделирање и анализа евалуације управљања репутацијом на мрежи (*Kumar* и остали, 2017);
- ангажовање купаца на сајтовима друштвених мрежа (*Jani* и остали, 2018);
- истраживање потрошача за куповини пакет излета у граду Isfahan (*Abdollahi* и остали, 2020); и
- побољшање безбедности на радном месту (*Komatina* и остали, 2021).

2.7. Метода ELECTRE проширена теоријом фази скупова

За рангирање алтернативе постоји велики број метода и приступа. У овом раду коришћен је метод ELECTRE (франц. *Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*, у даљем тексту скр. ELECTRE) коју је развио Bernard Roy 1986. године са својим сарадницима (*Benayoun, Roy i Sussman*, 1966).

Метод ELECTRE омогућава доносиоцу одлуке да одабере алтернативу са максималном предношћу и минималним сукобима у функцији различитих критеријума, односно пружа јасно слику о вредности сваке алтернативе.

Прва верзија је била ELECTRE I која је служила за делимично одређивање поретка алтернатива (*Roy i Bouyssou*, 1986). Затим је развијена ELECTRE II која је коришћена за потпуно уређење односно рангирање алтернатива (*Roy*, 1971). Сталним побољшањем развијене су и верзије ELECTRE III (*Rogers i Bruen*, 1998), ELECTRE IV (*Roy i Hugonnard*, 1982), ELECTRE IS (*Roy i Skalka*, 1984), ELECTRE TRI (*Yu*, 1992), ELECTREGKMS (*Greco i ostali*, 2011), ELECTRE TRI-C (*Almeida-Dias i ostali*, 2010), ELECTRE TRI-NC (*Almeida-Dias i ostali*, 2012). У пракси је метода ELECTRE I коришћена за решавање проблема одабира, ELECTRE TRI за решење проблема додељивања, а ELECTRE II, III и IV за решење проблема рангирања.

Уопштено гледано, метода се заснива на парним поређењима алтернатива. То значи да се свака алтернатива пореди са свим осталим алтернативама где важе правила: ако је алтернатива „a“ боља од алтернативе „b“ за већину критеријума и не постоји критеријум по којој је алтернатива „a“ стриктно лошија од алтернативе „b“, може се рећи да је алтернатива „a“ боља од алтернативе „b“. Главна предност методе је та што не дозвољава компензацију између критеријума и било којег поступка нормализације, јер се нормализацијом искривљују изворни подаци.

У литератури се може наћи већи број проширења методе ELECTRE, где аутори користе алгебру основне методе као што је ELECTRE III, уз додатак разних облика фази скупова за процену односно вредновање алтернатива. Разлика у односу на

класичну ELECTRE методу настаје због примене алгебре коју захтева дати фази скуп, чиме методу ELECTRE чини сложеном приликом креирања, што је и главна мана ELECTRE.

Метода ELECTRE је коришћена за решавање различитих проблема у различитим областима које су сложене и комплексне, као што је: избор добављача, процена ризика, енергетика и животна средина, управљање отпадом, избор материјала и опреме, избор локације. За проширење ELECTRE фази скуповима код процене односно вредновања критеријума по алтернативама је најчешће коришћен: троугаони фази број тип 1, трапезоидни фази број тип 1 и тип 2, и интуитивни фази број (*Wu* и *Chen*, 2011; *Wu*, 2019; *Milovanović* и остали, 2021; *Rogulj* и *Kilić*, 2021; *Sokolova* и *Georgievich*, 2016).

У литератури се може наћи релативно мали број радова у којима је ELECTRE проширена са FFS. Компаративна анализа предложених варијанти ELECTRE проширене са FFS по питању облика, домена, начина агрегације, матрице (не)сагласности, начина одређивања дистанци FFS, дата је у табели 2.3.

Табела 2.3. – Компаративна анализа методе ELECTRE проширене са FFS

Аутор	Број лингвистичких израза/тип/домен	Број експерата/ обједињавање	Матрица (не)сагласности	Растојање између два FFS
<i>Pinar i Bonar</i> , 2020.	9/интервал/[0-1]	3/q-ROFWA	crisp/defuzz	q-ROF
<i>Zhou i ostali</i> , 2022.	9/интервал/[0-1]	5/модификован FFWA оператор	crisp/defuzz	FFS позитивна/негативна идеална тачка
<i>Akram i ostali</i> , 2023.	9/2TLFFS/[-1-1]	4/2TLFFWA	crisp/defuzz	Еуклидова нормализована дистанца
<i>Milovanović и остали</i> , 2024.	9/интервал/[0-1]	10/FFWPA	crisp/defuzz	Еуклидова нормализована дистанца

По питању области примене ELECTRE проширене са FFS, може се наћи у релативном малом броју истраживања, као што су:

- избор добављача (*Pinar i Bonar*, 2020);
- избор локације за Ковид пацијенте у Вухану (*Zhou i ostali*, 2022);
- избор био медицинског материјала (*Kirisci i ostali*, 2022);
- процена обновљивих извора енергије (*Shanthi i Basavaraju*, 2024);
- рангирање KPI процеса ремонта техничких система (*Milovanović* и остали, 2024).

2.8. VIKOR метода проширена са теоријом фази скупова

Идеја о решавању вишекритеријумских проблема путем компромиса проистекла је 1973. године од стране аутора Po-Ling Yu (*Po-Ling Yu*, 1973) и Zeleni (*Zeleni*, 1973).

Вишекритеријумска Оптимизација И Компромисно Решење - ВИКОР (енг. *Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution*) као један од модела вишекритеријумског одлучивања, развио је Оприцовић (1990) за решавање проблема одлучивања са конфликтним и разнородним критеријумима. Уведена је претпоставка да је компромис прихватљив за решавање конфликта, да доносилац одлуке жели решење које је најближе идеалном и да су алтернативе вредноване према свим критеријумима. Ранг алтернатива је заснован на вишекритеријумском индексу рангирања, односно заснован је на одређеној мери „блискости идеалном“ решењу. Ранг алтернатива представља компромисно решење које је најближе идеалном.

VIKOR је развијен са циљем да доносиоцу одлуке предложи алтернативе које представљају компромис између могућности и жеља. Компромисно решење се базира на одређивању ужег скупа могућих решења која се по вредностима приближава идеалној тачки односно референтној тачки у простору критеријумских функција (*Puška*, 2011). VIKOR одређује компромисну ранг листу, компромисно решење и интервале стабилности тежинских фактора за стабилност преференција компромисног решења, које је добијено почетним (задатим) тежинским фактором. Метода VIKOR се фокусира на рангирање и избор алтернативе, из скупа алтернатива, уз присуство конфликтних критеријума.

Проширење методе VIKOR се реализује разним фази скуповима, у зависности од начина на који се реализује процена. У литератури су занимљива проширења интуитивним фази скупом (*Devi*, 2011; *Wu* и остали, 2019,), као основа за каснији развој FFS.

У литератури се може наћи релативно мали број радова у којима је VIKOR проширен са FFS. Компаративна анализа предложених варијанти VIKOR проширене са FFS дата је у табели 2.4.

Табела 2.4. – Компаративна анализа методе VIKOR проширене са FFS

Аутор	Нормализована матрица одлучивања	Фази матрица одлучивања/обједињавање	Вредност корисности групе	Коефицијент блискости
<i>Gul</i> , 2021.	да	IVFFS/FFWA	Еуклидова дистанца	Конвенционални VIKOR, $k=0.5$
<i>Palanikumar i ostali</i> , 2022.	да	IVFFS/NSFIVS	Хемингова дистанца	Конвенционални VIKOR, $k=0.5$
<i>Akram</i> и остали, 2022.	да	N-soft/CFFNS _f WA	Хемингова дистанца	Конвенционални VIKOR, $k=0.5$
<i>Sethi i Kumar</i> , 2023.	да	IVFFS/нема агрегације	мера ентропије	Конвенционални VIKOR, $k=0.5$

Оправданост коришћења VIKOR методе проширене FFS за решавање проблема у различитим областима, дато је у следећим истраживањима:

- примена оператора обједињавања и VIKOR методе за комплексни q-ранг интуитивни фази скуп (*Garg* и остали, 2020);
- избор лабораторије за тестирање COVID-19 (*Gul*, 2021);
- мапирање осетљивости на шумске пожаре (*Sari*, 2021);
- процена ризика по здравље и безбедност на раду (*Chen* и остали, 2022);
- унапређење VIKOR методе са FFS (*Akram i Muhiuddin* и остали, 2022);
- модификација VIKOR методе са FFS хезистан скупом (*Mishra* и остали, 2022);
- одабир најбоље локације за нуклеарну електрану (*Akram* и остали, 2022);
- избор школа за финансирање која су у руралним срединама (*Palanikumar i Iampan*, 2022);
- MCGDM засновано на VIKOR методи помоћу FFS (*Palanikumar i Arulmozhi*, 2022);
- процена изазова за усвајање технологија обновљивих извора енергије у руралним срединама (*Saraji* и остали, 2023); и
- одабир технологије која ће бити заступљена у третману са медицинским отпадом (*Gao* и остали, 2024).

2.9. SAW метода проширена са теоријом фази скупова

Једноставни адитивни метод (*eng. Simple Additive Weighting* - SAW) је развијен 60-тих година прошлог века (*MacCrimona*, 1968). Основна карактеристика ове методе је једноставност примене и добијања поузданих резултата.

У литератури може да се нађе велики број истраживања у којима је SAW метода проширена са различитим формама фази бројева.

Неке од истраживања су се издвојила као референтна за примену у овој дисертацији:

- решавање проблем селекције особља (*Afshari* и остали, 2010);
- мониторинг здравља урбаних шума (*Pranolo i Muslimah*, 2014);
- вредновање пројекта пута (*Kuzović* и остали, 2015);
- доношење одлука о запошљавању људских ресурса (*Prasetiyo* и остали, 2016);
- процена производње поврћа (*Vico* и остали, 2017);
- разграничење потенцијала подземних вода у северном делу Арапских Емирата и Омана који користе гео просторне технологије у спрези са SAW, AHP и PFR техником (*Abrams* и остали, 2018);
- оптимизација избора система за подршку одлучивања (*Yani* и остали, 2018);
- упоредна анализа адитивног пондерисања и одмереног производа у систему подршке одлучивања (*Dede i Punggara*, 2018);
- подршка у одлучивању избора најбоље школе у Jambi (*Ibrahim i Surya*, 2019);

- одабир добављача робе - компјутера (*Pawan* и остали, 2020);
- доношење одлука о помоћи образовању (*Arsyah* и остали, 2021);
- подршка одлучивања о нивоу проблематичних нивоа казни ученика (*Purwanto* и остали, 2021);
- процена технике нормализације (*Nazanin* и остали, 2022);
- процена учинка запослених (*Mustofa i Bakhri*, 2022);
- анализа модела SAW (*Taherdoost*, 2023);
- компарација методе SAW са методом TOPSIS (*Ciardiello i Genovese*, 2023); и
- истраживање једноставног одређивања тежине зависности при доношењу одлуке SAW методом (*Khoiry i Amelia*, 2023).

Када је у питању SAW метод проширен са FFS, у литератури се нашао релативно мали број радова, као што је истраживање спроведено на избору лабораторије за тестирање COVID-19 (*Gul*, 2021). У наведеном истраживању FFS је дат у форми интервал вредности, за обједињавање процена је коришћен FFWA оператор, дефазификација је реализована по правилима FFS, рангирање је реализовано са *crisp* вредностима, тако да највећа вредност има највиши ранг.

Предност коришћења SAW методе (*Taherdoost*, 2023) је добра компензација међу критеријумима, примена једноставних програма, једноставно рачунање и могућност интуитивног начина доношења одлуке. Од недостатака се највише истиче одређивање тежина критеријума помоћу других метода.

Према истраживањима (*Taherdoost*, 2023) показано је да се SAW метод највише користи за доношење одлуке у инжењерству, док се најмање користи у области истраживања материјала.

Сходно спроведеној анализи, због малог броја истраживања у којима је SAW метод проширен FFS, дат је простор да се у овој дисертацији као научни допринос за рангирање KPI-ова користи наведена метода.

2.10. Основна разматрања о генетском алгоритму

Смањење расипање материјала и резервних делова у процесу, губитак норма сати инжењера и механичара у технолошком процесу, смањење трошкова процеса, смањење ризика у процесу захтева, и повећање ефикасности процеса, захтева методе чија ће примена довести до решења горе наведених проблема. У теорији је развијен велики број метода, и ствара проблеме за инжењере при избору метода. Одговор на ово питање може да се добије применом оптимизационих метода.

У релевантној литератури могу се наћи различита тумачења термина оптимизација. Појам оптимизације подразумева поступке минимизације или максимизације функције циља уз дефинисана ограничења променљивих (*Wright u Nocedal*, 1999). Циљ оптимизације представља одређивање вредности променљивих на основу којих ће се оптимизовати функција циља уз дефинисана ограничења (*Diwekar*, 2020).

У литератури постоје разне поделе метода оптимизације, од којих се издваја подела на: егзактне и хеуристичке методе (*Ezugwu* и остали, 2021). Поређењем ове две групе метода оптимизације може се закључити да егзактне методе генеришу оптимално

решење док хеуристичке методе дају приближно оптимално решење. Примена егзактних метода је у решавању мање сложених проблема, док хеуристичке методе се користе за решавање сложених проблема (*Ezugwu* и остали, 2021).

Избор метода за унапређење перформанси сложеног процеса може да буде заснован на примени метахеуристичких метода (*Talbi*, 2009; *Gandomi* и остали, 2013; *Dokeroglu* и остали, 2019). Класификација метахеуристичких метода је на: метахеуристике засноване на еволуцији, метахеуристике засноване на путањи, метахеуристике инспирисане природом и метахеуристике засноване на древним цивилизацијама (*Harifi* и остали, 2021).

Метахеуристичке еволуционе методе су: генетски алгоритми, еволуционе стратегије, еволуционо програмирање, миметички алгоритам, диференцијална еволуција, хармонијска претрага, алгоритам колонске селекције и др. (*Harifi* и остали, 2021).

GA представљају модел оптимизације чији је главни циљ проналажење решења неког проблема који се не може решити детерминистичким методама (*Melanie*, 1994).

GA су предложени 70-тих година као рачунарски процес који презентује еволутивни процес у природи. GA су хеуристичке методе оптимизације које решавају рачунарске проблеме кроз симулацију механизма природне еволуције (*Holland*, 1975).

Еволуција представља процес претраживања простора за одговарајућим решењем односно проналазак функције циља над популацијом решења (*Holland*, 1975).

GA спада у групу популационих метахеуристика, јер кроз претраге не генерише једно решење, већ скуп решења која се називају популацијом (*Mathew*, 2012). Свако решење представља низ гена која се називају јединком, односно низ јединки чини популацију. За сваку јединку се везује квантитативна вредност која се назива функција приближења, и представља функцију циља за одређену јединку.

Основни концептуални модел GA где је представљен поступак и начин рада алгоритма дат је на слици 2.2 (*Albadr* и остали, 2020).

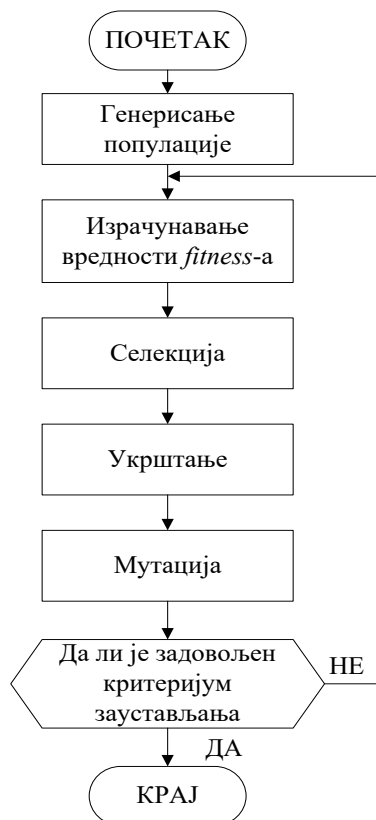
Алгоритам се реализује кроз следеће фазе: иницијација популације, израчунавање вредности функција приближења, селекција, укрштање, мутација, провера задовољења критеријума заустављања (*Albadr* и остали, 2020).

Иницијацијом популације се дефинише скуп јединки. Селекцијом се реализује избор јединки који учествују у укрштању, и реализује се на основу вредности функције циља – функција приближења.

Процесом укрштања се генеришу нове јединке на основу размене гена између две јединке, чиме се ствара нова јединка као наследник.

Мутацијом се на случајан начин гени једне или више јединки замењују генима других јединки.

Након процеса селекције, укрштања и мутације испитује се да ли је задовољен критеријум заустављања. Уколико је одговор „да“ генерише се решење, односно уколико је одговор „не“ процеси селекције, укрштања и мутације се понављају док се неиспуне задати критеријуми.



Слика 2.2 – Модел GA према (Albadr и остали, 2020)

У литератури се може наћи већи број радова у којима је коришћен GA као један од начина оптимизације. Компаративна анализа предложених варијанти GA дата је у табели 2.5.

Табела 2.5. – Компаративна анализа GA

Аутор	Функција циља	Ограничење	Број итерација	Степен мутације
(Pepić i ostali, 2017)	Пронаћи најкраћи пут од/до унапред дефинисаних градова	Трговачки путник долази/одлази из града једном	10000	10%, 50% и 100%
Gojković i ostali, 2021.	Потражња за методом квалитета која ће повећати поузданост процеса производње	Максимална примењива методе квалитета	1000	0.02
Nestić i ostali, 2022.	Потражња за производима која генеришу већи приход	Праг прихода	630	непознат
Komatina i ostali, 2023.	Однос укупног индекса приоритета ризика и трошкова	Трошкови одржавања	1000000	0.02

GA је нашао је примену у различитим сферама друштва, индустријских процеса и слично. Нека истраживања су послужила за разумевање и примену GA:

- примена комбинованог модела GA и матрице ризика у одређивању производног програма (*Misita* и остали, 2012);
- процена KPI процеса одржавања малих и средњих предузећа коришћењем фази скупова (*Stefanović* и остали, 2016);
- за решавање проблема трговачког путника (*Pepić* и остали, 2017);
- за решавање оптимизације инжењерског дизајна (*Mirjalili* и остали, 2017);
- предвиђање и оптимизација KPI у производњи језгра статора (*Rajora* и остали, 2017);
- побољшање поузданости производног процеса (*Gojković* и остали, 2021);
- предвиђање перформанси складишта на основу оптимизације GA (*Islam* и остали, 2021);
- оптимизација процеса ласерске обраде помоћу метакеуристичких метода (*Šibalija i Petronić*, 2021);
- у раду је предложена проширена техника груписања тежина заснована на KPI примењена у медицини на примеру утврђивања вероватноће срчаног удара (*Suray i Suresh*, 2022);
- управљање пословним процесима применом савремених дигиталних система (*Djordjevic* и остали, 2022);
- унапређење производње и продаје (*Nestić* и остали, 2022);
- модел вођен инвентарним подацима за предвиђање у планирању производње (*Takeda i Frazzon*, 2022);
- процена оперативних перформанси (*Zhang* и остали, 2022);
- планирање одржавања и рехабилитација коловоза (*Naseri* и остали, 2022);
- оптимизација управљања процеса одржавања ветро-турбина на мору кроз минимизацију трошкова (*Gonzalo* и остали, 2022);
- оптимизација енергетске ефикасности фарме ветро-генератора засновано на GA (*Rašuo* и остали, 2023);
- одређивање приоритета грешака у производном процесу (*Komatina* и остали, 2023);
- оптимизација структуре електричне машине перформанси (*Huang* и остали, 2023);
- прегледно истраживање које пружа препоруку за будуће правце истраживања, руководећи се практичним значајем узимајући у обзир: производњу, одржавање и распоређивање ресурса (*Geurtsen* и остали, 2023); и
- приступ динамичком планирању одржавања у условима неизвесности (*Rodríguez* и остали, 2024).

3. РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА МЕРЕЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПРОЦЕСА РЕМОНТА

У овом поглављу је приказана методологија развоја модела за мерење перформанси процеса ремонта техничких система. Због сложености процеса, модел је развијен кроз фазе, а у оквиру појединих фаза дати су кораци.

3.1. Основи процеса ремонта средстава

Савремена и разноврсна средства захтевају сложену организацију процеса одржавања. Кључну улогу у развоју процеса одржавања имају људски и материјални ресурси, као и технолошки капацитети.

У данашње време са брзим развојем технологије, процес одржавања средстава постаје кључан, и као таквом мора му се посветити посебна пажња. Применом управљачких механизма и инжењерских метода, уз оптимизацију ресурса и капацитета, постиже се ефикасност процеса одржавања.

Процес ремонта представља највиши ниво одржавања средстава. У општем смислу то је процес обнове ресурса средстава кроз примену одобрених технолошких поступака. Састоји се од комплементарних процеса превентивног и корективног одржавања.

У превентивно одржавање спадају планирани радови на основу: календарског рока рада, временског рока рада, броја циклуса и сл., који по обиму и прописима спадају у ниво генералног ремонта. Корективно одржавање реализује се на основу краткорочног планирања и координације крајњег корисника и саме ремонтне организације.

Процес ремонта је сложен процес који се састоји од директних и индиректних активности. Процес ремонта започиње уговарањем, наставља се пријемом средства од корисника, активностима и радовима током ремонта а завршава се предајом средства кориснику. При томе се и након предаје средстава кориснику, у гарантном року, врши отклањања уочених неисправности и ради свођења карактеристика средстава на пројектоване вредности.

За процес ремонта средстава, поред наведених активности, веома велик значај имају и активности које имају посредан утицај на процес ремонта као што су: обученост кадра, процес набавке резервних делова, радови који се изводе у кооперацији због немогућности ремонтне организације да самостално изведе све потребне радове, израда резервних делова, опремање и материјално-техничко обезбеђење ремонтних установа и радионица.

Процесом ремонта се постиже одговарајућа поузданост средстава у експлоатацији што као крајњи резултат има достизање захтеване готовости средстава за употребу. При томе сам процес ремонта захтева посебну верификациону ремонтно-техничку документацију.

Верификациона ремонтно-техничка документација садржи опис операција које се спроводе у процесу ремонта и поступак верификације извршених радова од стране контролора.

Да би се у процесу ремонта обезбедила највећа могућа усаглашеност средстава са пројектованим карактеристикама, потребно је све активности које се спроводе у процесу ремонта извести у складу са ремонтно-техничком документацијом.

Овај приступ представља основу у процесу ремонта, који има за циљ постизање захтеваног нивоа поузданости и усаглашености са захтеваним параметрима дефинисаним у ремонтно-техничкој документацији.

Сагледавање ефикасности процеса ремонта је могуће кроз праћење и мерење показатеља који директно утичу на исход процеса ремонта.

3.2. Алгебра FFS

Моделовање неизвесности у раду је реализовано помоћу FFS. У светску научну литературу Senapati и Yager увели су 2019. године FFS (Senapati i Yager, 2019a, 2019b, 2020) и дефинисали алгебру за FFS:

Дефиниција 1. Интуитивни фази број q -реда ($q > 3$), имају следећи облик:

$$\tilde{A} = \left\{ x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in X \right\}, \text{ где је: } \mu_{\tilde{A}}(x) \rightarrow [0,1] \text{ и } \nu_{\tilde{A}}(x) \rightarrow [0,1] \text{ и где важи следећи услов:}$$

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x)^q + \nu_{\tilde{A}}(x)^q \leq 1, \forall x \in X.$$

За сваки интуитивни фази број q -реда у X важи:

$$\pi_{\tilde{A}}(x) = \sqrt[q]{1 - \mu_{\tilde{A}}(x)^q - \nu_{\tilde{A}}(x)^q}, \text{ где је } \pi_{\tilde{A}}(x) \text{ индекс неодлучности } x \text{ у } \tilde{A}.$$

Дефиниција 2. Ако је X фиксни скуп, а F је дефинисан на скупу X , као $\tilde{F} = \left\{ \langle x_j, \mu_F(x_j), \nu_F(x_j) \rangle \mid x_j \in X \right\}$, где $\mu_F(x_j)$ представља припадност на интервалу ($0 \leq \mu_F(x_j) \leq 1$), а $\nu_F(x_j)$ степен не припадности ($0 \leq \nu_F(x_j) \leq 1$) $x_j \in X$ у скупу F , односно задовољава следећи услов: $0 \leq (\mu_F(x_j))^3 + (\nu_F(x_j))^3 \leq 1$. За свако $x_j \in X$, ако $\pi_F(x_j) = \sqrt[3]{1 - (\mu_F(x_j))^3 - (\nu_F(x_j))^3}$, онда $\pi_F(x_j)$ степен неодређености $x_j \in X$ на скупу F .

Дефиниција 3. Ако су $\tilde{F}_1$ и $\tilde{F}_2$ два FFS, онда се на њих могу применити следеће аритметичке операције:

- $\tilde{F}_1 \leq \tilde{F}_2$ ако и само ако $\mu_1 \leq \mu_2$ и $\nu_1 \geq \nu_2$;
- $\tilde{F}_1 = \tilde{F}_2$ ако и само ако $\mu_1 = \mu_2$ и $\nu_1 = \nu_2$;
- $\tilde{F}_1 \oplus \tilde{F}_2 = \left(\sqrt[3]{\mu_1^3 + \mu_2^3 - \mu_1^3 \cdot \mu_2^3}, \nu_1 \cdot \nu_2 \right)$;
- $\tilde{F}_1 \otimes \tilde{F}_2 = \left(\mu_1 \cdot \mu_2, \sqrt[3]{\nu_1^3 + \nu_2^3 - \nu_1^3 \cdot \nu_2^3} \right)$;
- $\lambda \cdot \tilde{F}_1 = \left(\sqrt[3]{1 - (1 - \mu_1^3)^\lambda}, \nu_1^\lambda \right)$, где $\lambda \geq 0$;
- $\tilde{F}_1^\lambda = \left(\mu_1^\lambda, \sqrt[3]{1 - (1 - \nu_1^3)^\lambda} \right)$, где је $\lambda \geq 0$.

Дефиниција 4. Ако је $\tilde{F}_1 = (\mu_1, \nu_1)$ и $\tilde{F}_2 = (\mu_2, \nu_2)$ два FFS и λ , λ_1 и λ_2 три позитивна реална броја, онда се примењују следећа својства:

- $\tilde{F}_1 \oplus \tilde{F}_2 = \tilde{F}_2 \oplus \tilde{F}_1$;
- $\tilde{F}_1 \otimes \tilde{F}_2 = \tilde{F}_2 \otimes \tilde{F}_1$;
- $\lambda \left(\tilde{F}_1 \oplus \tilde{F}_2 \right) = \lambda \cdot \tilde{F}_1 \oplus \lambda \cdot \tilde{F}_2$;
- $\lambda_1 \cdot \tilde{F}_1 \oplus \lambda_2 \cdot \tilde{F}_1 = (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \tilde{F}_1$;
- $\left(\tilde{F}_1 \otimes \tilde{F}_2 \right)^\lambda = \tilde{F}_1^\lambda \otimes \tilde{F}_2^\lambda$;
- $\tilde{F}_1^{\lambda_1} \otimes \tilde{F}_1^{\lambda_2} = \tilde{F}_1^{\lambda_1 + \lambda_2}$;
- $\tilde{F}_1 - \tilde{F}_2 = \left(\sqrt[3]{\frac{\mu_1^3 - \mu_2^3}{1 - \mu_2^3}}, \frac{\nu_1}{\nu_2} \right)$ уз услов да је $\mu_1 \geq \mu_2$ и $\nu_1 \leq \min \left\{ \nu_2, \frac{\nu_2 \pi_1}{\pi_2} \right\}$;
- $\tilde{F}_1 \div \tilde{F}_2 = \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}, \sqrt[3]{\frac{\nu_1^3 - \nu_2^3}{1 - \nu_2^3}} \right)$ уз услов да је $\nu_1 \geq \nu_2$ и $\mu_1 \leq \min \left\{ \mu_2, \frac{\mu_2 \pi_1}{\pi_2} \right\}$;
- $\tilde{F}^c = (\nu, \mu)$;
- $\tilde{F} = (\mu, \nu)$, $sc(\tilde{F}) = \mu^3 - \nu^3$; $acc(\tilde{F}) = \mu^3 + \nu^3$;
- $\tilde{F}_1 \cap \tilde{F}_2 = (\min \{ \mu_1, \mu_2 \}, \max \{ \nu_1, \nu_2 \})$;
- $\tilde{F}_1 \cup \tilde{F}_2 = (\max \{ \mu_1, \mu_2 \}, \min \{ \nu_1, \nu_2 \})$;
- $\tau \tilde{F} = \left(\sqrt[3]{1 - (1 - \mu^3)^\tau}, \nu^\tau \right)$;
- $\tilde{F}^\tau = \left(\mu^\tau, \sqrt[3]{1 - (1 - \nu^3)^\tau} \right)$;
- $average(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \left(\frac{\mu_1^3 + \mu_2^3}{2}, \frac{\nu_1^3 + \nu_2^3}{2} \right)$.

Дефиниција 5. Ако су $\tilde{F}_1 = (\mu_1, \nu_1)$ и $\tilde{F}_2 = (\mu_2, \nu_2)$ два FFS, онда се поређење реализује по следећим правилима:

- Ако је $sc(\tilde{F}_1) < sc(\tilde{F}_2)$, онда је $\tilde{F}_1 < \tilde{F}_2$,
- Ако је $sc(\tilde{F}_1) > sc(\tilde{F}_2)$, онда је $\tilde{F}_1 > \tilde{F}_2$,
- Ако је $sc(\tilde{F}_1) = sc(\tilde{F}_2)$, онда:
 - a) ако је $acc(\tilde{F}_1) < acc(\tilde{F}_2)$, онда $\tilde{F}_1 < \tilde{F}_2$,
 - b) ако је $acc(\tilde{F}_1) > acc(\tilde{F}_2)$, онда $\tilde{F}_1 > \tilde{F}_2$,
 - c) ако је $acc(\tilde{F}_1) = acc(\tilde{F}_2)$, онда $\tilde{F}_1 \approx \tilde{F}_2$.

Дефиниција 6. Ако $\tilde{F}_i = (\mu_i, \nu_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ припадају FFS и $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ су тежински вектори $\tilde{F}_i$ уз услов: $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$, онда је Ферматан фази тежински оператор снаге просека (енг. *Fermatean fuzzy weighted power average*, скр. FFWPA), оператор функције $FFWPA: \tilde{F}^n \rightarrow \tilde{F}$, где је

$$FFWPA(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_n) = \left(\left(\sum_{i=1}^n \omega_i \mu_i^3 \right)^{\frac{1}{3}}, \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \nu_i^3 \right)^{\frac{1}{3}} \right). \quad (1)$$

Дефиниција 7. Ако $\tilde{F}_i = (\mu_i, \nu_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ припадају FFS и $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ су тежински вектора $\tilde{F}_i$ уз услов $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$, онда је Ферматан фази тежински оператор геометријске снаге (енг. *Fermatean fuzzy weighted power geometric* скр. FFWPG) оператор функције $FFWPG: \tilde{F}^n \rightarrow \tilde{F}$, где је

$$FFWPG(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_n) = \left(\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{Fi}^3)^{\omega_i} \right)^{\frac{1}{3}}, \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \nu_{Fi}^3)^{\omega_i} \right)^{\frac{1}{3}} \right). \quad (2)$$

Дефиниција 8. Ако су $\tilde{F}_1 = (\mu_1, \nu_1)$ и $\tilde{F}_2 = (\mu_2, \nu_2)$ два FFS. Дистанца између $\tilde{F}_1$ и $\tilde{F}_2$ је дефинисана као:

- Еуклидова дистанца: $d_E(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[|\mu_1^3 - \mu_2^3|^2 + |\nu_1^3 - \nu_2^3|^2 + |\pi_1^3 - \pi_2^3|^2 \right]}$; (3)

- Хемингова дистанца: $d_h(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \frac{1}{2} [|\mu_1^3 - \mu_2^3| + |\nu_1^3 - \nu_2^3| + |\pi_1^3 - \pi_2^3|];$ (4)

- Триангуларна дивергенција (*Deng i Wang, 2022*):

$$d_{Tr}(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(\mu_1^3 - \mu_2^3)^2}{\mu_1^3 + \mu_2^3} + \frac{(\nu_1^3 - \nu_2^3)^2}{\nu_1^3 + \nu_2^3} \right]};$$
 (5)

- Хелингерова дистанца (*Deng i Wang, 2022*):

$$d_{He}(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[\left\{ \sqrt{\mu_1^3} - \sqrt{\mu_2^3} \right\}^2 + \left\{ \sqrt{\nu_1^3} - \sqrt{\nu_2^3} \right\}^2 \right]};$$
 (6)

- Дистанца *Cosin* (*Kirisci, 2023*):

$$D_{\cosin} = 1 - S_{FE}, \quad S_{FE} = \frac{C_F + 1 - D_F}{2};$$

$$D_F(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[\left\{ \mu_1^3 - \mu_2^3 \right\}^2 + \left\{ \nu_1^3 - \nu_2^3 \right\}^2 + \left\{ \pi_1^3 - \pi_2^3 \right\}^2 \right]};$$

$$C_F(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\mu_1^3 \mu_2^3 + \nu_1^3 \nu_2^3 + \pi_1^3 \pi_2^3}{\sqrt[3]{\mu_1^3 + \nu_1^3 + \pi_1^3} \sqrt[3]{\mu_2^3 + \nu_2^3 + \pi_2^3}}.$$
 (7)

Дефиниција 9. Обједињавање помоћу тежинског оператора геометријска снага (FFWGA) када се неизвесност моделује помоћу интуитивним фази бројем p, q -реда (*Pinar i Boran, 2020*):

$$FFWPG(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_n) = \left(\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{Fi}^p)^{\omega_i} \right)^{\frac{1}{p}}, \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \nu_{Fi}^q)^{\omega_i} \right)^{\frac{1}{q}} \right),$$
 (8)

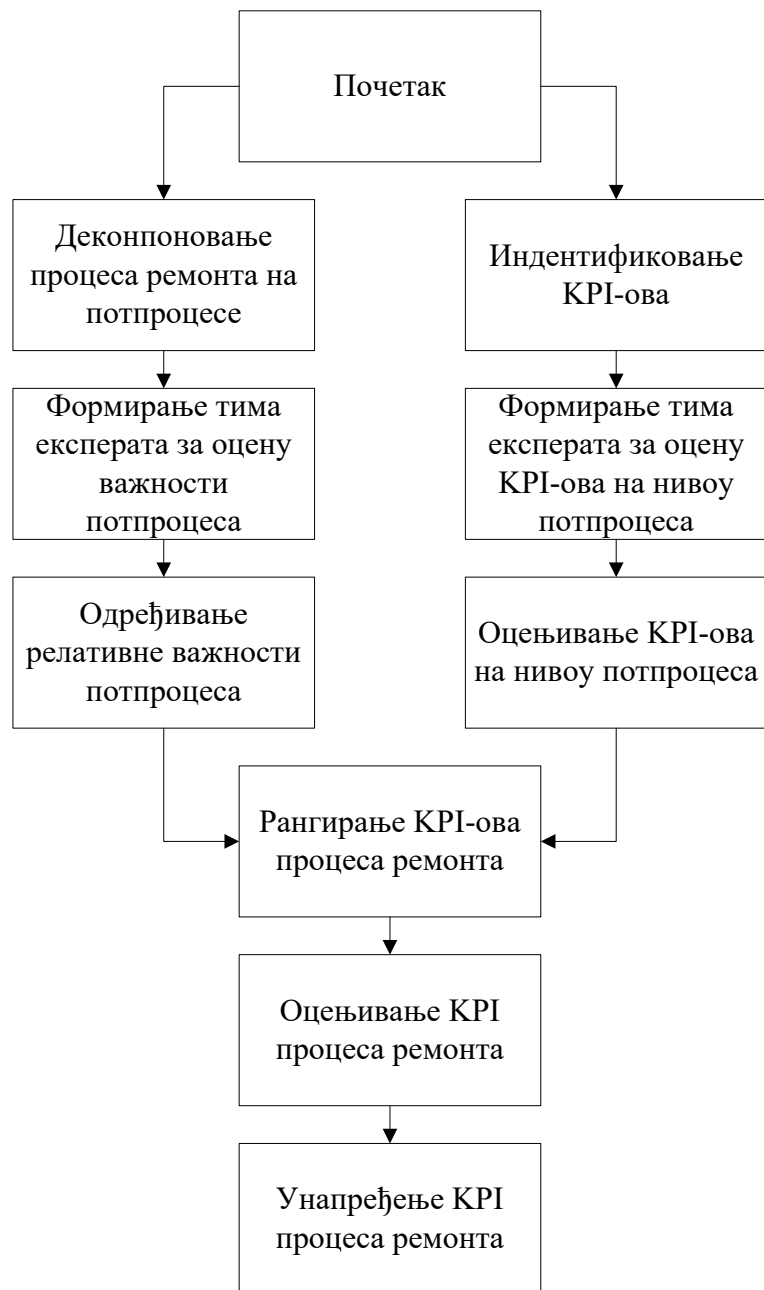
$$\pi_Q(x_j) = \sqrt[q]{1 - (\mu_Q(x_j))^q - (\nu_Q(x_j))^q} \quad \text{односно} \quad \pi_B(x_j) = \sqrt[k]{1 - (\mu_B(x_j))^p - (\nu_B(x_j))^q}.$$

3.3. Концептуални модел за мерење и унапређење перформанси процеса ремонта техничких система

Специфичност организације и комплексност технологије ремонта захтева развој хибридног модела за мерење перформанси. Развијени модел треба да омогући доносиоцима одлука да одговоре на следећа питања:

- како разложити сложене процесе на потпроцесе?,
- који KPI су погодни за мерење учинка процеса?,
- како објективно одредити вредности KPI?,
- на који начин експерти могу да искажу субјективну процену вредности KPI и потпроцеса?,
- како ефикасно постићи консензус у процесу доношења одлука?,
- које методе користити за мерење вредности KPI?, као и како унапредити KPI процеса ремонта?

Имајући у виду да се ради о сложену моделу исти је развијен кроз фазе као што је приказано на слици 3.1.



Слика 3.1 – Концепт развоја модела за рангирање и оцењивање КРІ процеса ремонта

Фаза 1. Деконпоновање процеса ремонта на потпроцесе праћењем технолошког процеса ремонта од момента када технички систем преда на ремонтној организацији до момента враћања техничког система кориснику након завршетка процеса ремонта.

Нотација је урађена у складу са публикованим радовима у међународним часописима, у којима су верификовани предложени модели.

Формално, идентификовани потпроцеси ремонта се представљају скупом индекса PP_i , где $i=1,2,\dots, I$, I - представља укупан број потпроцеса.

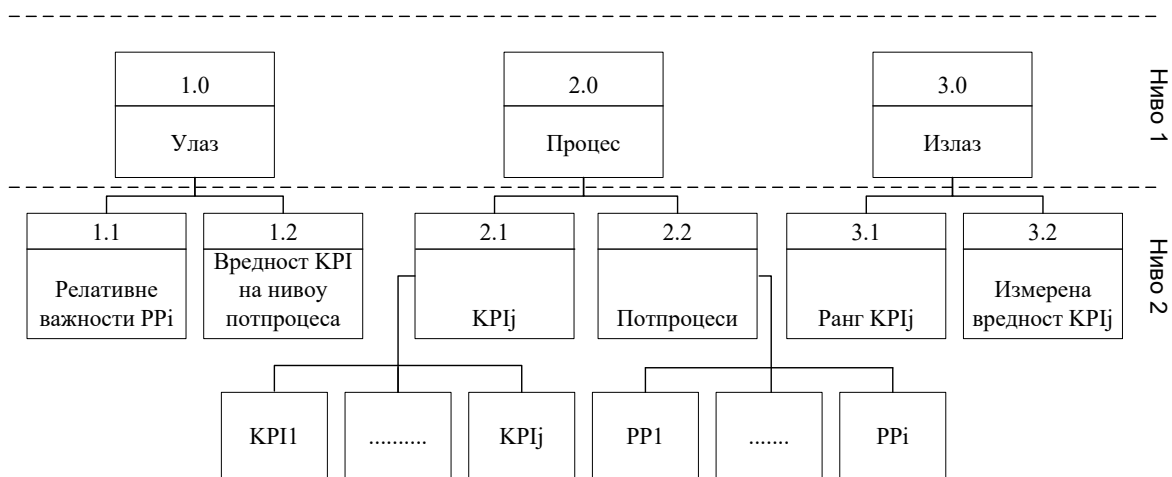
Формално идентификовани КРІ представљени су скупом индекса KPI_j , где $j=1,2,\dots,J$, где J - представља укупан број кључних индикатора перформанси.

За декомпоновање процеса ремонта на потпроцесе и идентификовање КРІ процеса ремонта, коришћена је прилагођена HIPO метода за мерење перформанси процеса ремонта, која је представљена дијаграмом HIPO методе, као што је приказано на слици 3.2.

Први ниво чине: 1.0 - улаз, 2.0 - процес и 3.0 - излаз.

Други ниво чине:

- улазни параметри, као што су: 1.1 - релативне важности сваког потпроцеса које су добијене Делфи методом проширене FFS, и 1.2 - вредности сваког КРІ на нивоу сваког потпроцеса.
- процес, као што су: 2.1 - идентификовани КРІ и 2.2 - декомпонован процес на технолошке потпроцесе.
- излазни резултати, као што су: 3.1 - ранг КРІ и 3.2 - измерене вредности КРІ.



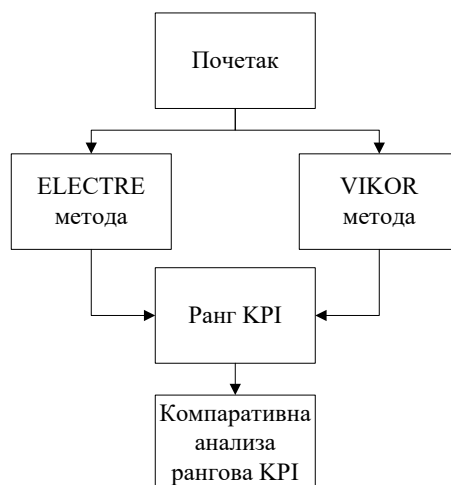
Слика 3.2 – Дијаграм HIPO методе за процес ремонта

Фаза 2. Одређивање експерата који реализују оцењивање важности потпроцеса и експерата који оцењују вредност КРІ на нивоу сваког потпроцеса.

Фаза 3. Одређивање релативних важности потпроцеса применом Делфи методе проширене са FFS.

Фаза 4. Оцењивање КРІ на нивоу сваког потпроцеса од стране експерата помоћу лингвистичких израза.

Фаза 5. Рангирање КРІ помоћу метода вишекритеријумског одлучивања (VIKOR и ELECTRE) приказано је на слици 3.3. За оцену перформанси процеса ремонта коришћено је осам прво ранжираних КРІ. Методом сличности извршено је потврђивање добијених решења.



Слика 3.3 - Модел за рангирање КРИ процеса ремонта

Фаза 6. Одређивање вредности 8 (осам) најбоље ранжираних КРИ реализује се помоћу SAW методе проширене са FFS. Резултат SAW методе представља перформансе процеса ремонта.

Фаза 7. Унапређење КРИ применом генетског алгоритма.

3.4. Декомпоновање процеса ремонта према APQC оквиру

Декомпоновање процеса ремонта на потпроцесе реализовано је помоћу HIPO методе. У циљу поређења процеса ремонта са индустријским стандардом коришћен је оквир APQC (енг. *American Productivity & Quality Center*) основан 1977. године. Познат је по свом оквиру за анализу процеса (енг. *Process Classification Framework - PCF*), као стандард за категоризацију и анализу процеса у организацијама.

Анализом литературе APQC оквир је најчешће коришћен за побољшање пословања предузећа, индустријских процеса, а за потребе овог рада издвајају се следећа истраживања:

- побољшање процеса транспорта ван габаритног терета (*Pengsomboon* и остали, 2019),
- управљање технолошким иновацијама производним предузећима (*Dolganova*, 2021),
- мапирање пословних процеса у компанији за развој софтвера (*Andriani* и остали, 2019),
- процена перформанси постројења за отпадне воде (*Rao i Phusavat*, 2013),
- ефикасан развој пословања у иновацијама информатичке технологије (*Srivastava* и остали, 2018),
- референтни оквир процеса за креативну индустрију (*Corollo* и остали, 2021),
- развој оквира за пословање фармaceutске индустрије (*Lauren i Hubert*, 2018),
- индентификација фактора трошкова у сложеним производним предузећима (*Myrodia i Hvam*, 2015),
- унапређење поморских бродских компанија увођењем дигитализације у њихово пословање (*Gonzalez* и остали, 2022).

APQC оквир (интернет страница: www.apqc.org) је дефинисао следећих 13 (тринаест) категорија (верзија 7.2.1):

- 1.0 „Развијање визије и стратегије“,
- 2.0 „Развијање и управљање производима и услугама“,
- 3.0 „Тржиште и продаја производа и услуга“,
- 4.0 „Испорука физичких производа“,
- 5.0 „Испорука услуге“,
- 6.0 „Управљање корисничким сервисом“,
- 7.0 „Развијање и управљање људским капиталом“,
- 8.0 „Управљање информационим технологијама“,
- 9.0 „Управљање финансијским ресурсима“,
- 10.0 „Управљање ризиком предузећа, усклађеношћу, санацијом и отпорношћу“,
- 11.0 „Набавка, изградња и управљање имовином“,
- 12.0 „Управљање спољном анализом“, и
- 13.0 „Развијање и управљање пословним способностима“.

Анализом категорија APQC и декомпонованог процеса ремонта помоћу НПРО методе, као најприближнији оквир за процес ремонта највише одговара категорија 5.0 „Испорука услуга“. Испорука услуга као пословна пракса обухвата идентификацију стратегије пружање услуга, управљање ресурсима и испоруку услуга кориснику. Услуга у нашем случају се односи на услугу одржавања средстава.

Према APQC у оквиру 5.0 дефинисане су поткатегорије, у оквиру којих су препознати стандарди који се могу применити на процес ремонта, добар део дефинисаних стандарда не одговара процесу ремонта и неће се разматрати. Од свих дефинисаних стандарда у оквиру категорије 5.0 издвајене су следеће поткатегорије:

- из поткатегорије 5.1 „Успостављање управљања и стратегије пружања услуга“, за процес ремонта су битни следећи стандарди: стратегија пружања услуга кроз дефинисање циљева, политике, дефинисање процеса, стварање повољних услова за рад на радним местима, обезбеђење адекватне инфраструктуре где се пружа услуга, спровођење и имплементација мера перформанси како би се обезбедила успешна испорука услуге, ревизија процедура учинка која нису у складу са параметрима учинка, обезбеђење повратне информације о извршеној услузи од стране корисника.
- из поткатегорије 5.2 „Успостављање управљања ресурсима за пружање услуга“, за процес ремонта су битни следећи стандарди: разумевање захтева за пружање услуге, обезбеђење ресурса, развој прогнозирања потребе за ресурсима, идентификовање очекиване потражње за услугом, идентификовање вештина потребних за пружање услуге, обезбеђење да сво особље буде обучено за пружање услуга, провера да ли је обука пружена особљу била успешна кроз облик тестирања и примену вештине за практичан рад.
- из поткатегорије 5.3 „Испорука услуга купцу“, за процес ремонта су битни следећи стандарди: провера да ли организација има све неопходне ресурсе за пружање услуге, идентификовање, одабир и додељивање ресурса потребних за реализацију услуге, провера да ли су сви аспекти процеса услуга завршени, провера да ли је организација испунила све захтеве корисника, провера да ли је комплетна алат и опрема враћена на предвиђено место по завршетку пружања услуга.

Из напред наведене анализе, за већи део процеса ремонта који је декомпонован помоћу HIPO методе, могу се доделити оквири стандарда који одговарају у пуној или мањој мери потпроцесима ремонта.

3.5. Одређивање експерата

Одређивање експерата је од изузетног значаја и важности за сам процес вредновања потпроцеса и KPI. Може се слободно рећи да колико је тешко донети праву одлуку толико је тешко и изабрати одговарајуће експерте. Нормално је да експерти не могу бити лица која не познају проблем који треба да се реши, тако да је неопходно циљ одабрати она лица која ће својим знањем, познавањем проблема, искуством у раду и доказаним референцама, дати пун допринос у оцени перформанси процеса ремонта.

3.5.1. Одређивање експерата за оцењивање релативних важности потпроцеса и KPI

Какве особине треба да има лице у функцији експерта, показала су ранија истраживања и анализе Shanteau (*Shanteau*, 1992), Chi (*Chi* и остали, 1988) и Cellier (*Cellier* и остали, 1988), где преовладавају мишљења да експерти треба да поседују обимно и садржајно знање у предметној области, изузетни су у својој области и вешти у извођењу закључака. Такође лица која се одређују за експерте потребно је да имају развијене способности опажања и предвиђања. Све експерте треба да карактерише брзина решавања проблема тако да грешке које праве буду занемарљиве. Такође, битно је напоменути да експерти имају добре комуникацијске способности и да буду посвећени анализи свих доступних информација. И као последња особина експерата истакнута је самоконтрола при оцењивању потпроцеса и KPI.

Један од већих проблема приликом оцењивања јесте обједињавање индивидуалних мишљења експерата у колективну одлуку уз постизање консензуса. У појединим случајевима неки експерти можда неће прихватити донету одлуку јер могу сматрати да њихове индивидуалне преференције нису узете у обзир у довољној мери. Из тог разлога, процес постизања консензуса је уведен као додатна фаза у решавању проблема. Консензус у доношењу одлука у групи захтева дискусију и разматрање проблемских питања између чланова групе, са циљем доношења коначне одлуке коју сви чланови групе могу подржати упркос њиховим различитим мишљењима. Кроз процес постизања консензуса, њихова мишљења се могу динамички мењати, све док се не постигне коначна одлука. Никада се са сигурношћу не може тврдити да је на овај начин донешена права одлука, јер може да се деси да је мањи број експерата са другачијим мишљењем ипак у праву.

Према ауторима (*Milićević i Milenkov*, 2014) групно одлучивање је процес оцењивања од стране експерата и радне групе – модератора, која врши прикупљање и обраду добијених информација. Често се поставља питање квалитета донешене одлуке, што је и предмет интересовања истраживача. Групне одлуке се могу добити методом колективног рада групе и методом добијања (обједињавања) индивидуалних мишљења експерата.

Из напред наведене анализе а за потребе развијеног модела одређени су експерти из организације која се бави ремонтом сложених техничких система.

3.5.2. Начини прикупљања информација од експерата

Да би се донела одлука потребно је прикупити информације од експерата. У пракси постоје три начина за прикупљање информација, а то су: анкетирање, интервју и мерење.

Анкетирање подразумева да експерти након упознавања садржаја анкете, треба да дају одговор у писаном облику на сва питања која се налазе у анкети.

Анкета је структурно повезан систем питања од којих је свако питање повезано са централним задатком који се решава. Анкетирање може бити директно и индиректно.

Када се ради о директном анкетирању, експерт попуњава анкету у присуству чланова групе, док у индиректном случају тај принцип није испоштован. Ако се експерт налази даље од локације где је радна група, анкету може добити путем поште или електронске поште.

Позитивна страна директног анкетирања огледа се у томе што се експерту на лицу места може растумачити постављено питање, што код индиректног анкетирања може бити проблем око разумевања постављених питања, и даље може утицати на одговоре експерата.

Предност индиректног анкетирања се огледа у томе што група може имати и већи број експерата који се налазе на удаљеним локацијама од радне групе. Негативна страна директног анкетирања може имати утицај анкетара на одговоре експерта. Што се тиче самог облика анкете, она у себи садржи главна питања која су усмерена на решавање проблема и у неким случајевима додатна образложења око проблема који се решава. Сама главна питања могу бити отворена и затворена односно директно и индиректно постављена. На отворена питања одговор се даје на произвољан начин, док се код затворених питања дају могућност једног или више понуђених одговора, као и давање бројчане оценое као одговор. Предности код отворених питања су могућности експерата да детаљније образложе одговоре на постављена питања, као и да укажу на неке додатне проблеме који нису обухваћени датим питањем. Недостатком отворених питања сматра се потенцијално произвољно тумачење од стране експерта, што може довести до немогућности обједињавања и поређења података добијених од експерата. Предности затворених питања су релативно лака обрада података, а недостатком се сматра наметање понуђених одговора експертима. Када се ради о директним питањима, тада се тражи директно мишљење од експерата, док код индиректног питања тражи се мишљење експерата о мишљењима који су дали други стручњаци.

Интервју подразумева разговор са експертима на решавању датог проблема. Може се реализовати директно лицем у лице или електронским путем. Интервју се може водити са више лица истовремено, што може бити мана јер може довести до губитка самосталности експерта и до преласка интервјуа у дискусију и расправу. Подела интервјуа је на структуриране, полу структуриране и не структуриране. Када се ради о структурираним, циљ је прецизно унапред утврђен са већ дефинисаним питањима која се не мењају током вођења интервјуа. У оваквој врсти интервјуа није дозвољено постављање потпитања, преформулисање већ дефинисаних питања, давање коментара и слично. Када су у питању полуструктурирани интервју, питања су начелно дефинисана, али постоји одређени степен флексибилности, тако да се питања могу у некој мери допунити, мењати или изоставити. Потпитања су дозвољена, на основу унапред дефинисане процедуре. Када се ради о не структурираним интервјуима, питања нису унапред дефинисана, али су дефинисане одређене области о којима ће се разговарати са експертима. Циљ овакве врсте интервјуа јесте да се прикупе општа

знања, мишљења и ставови о неком проблему, посебно када се за циљ има мишљење експерта о неком проблему. Питања се креирају током разговора, процедура вођења интервјуа није тврдо дефинисана, већ се прилагођава датој ситуацији. Обично су не структурирани интервјуи увод у полуструктуриране и структуриране интервјуе. Да би интервју био квалитетан, време не сме бити ограничавајући фактор. Интервјуом се добијају велике количине информација, при чему велику улогу о квалитету добијених података има лице које води интервју са експертом, јер од тог лица зависи којим путем ће тећи разговор.

Мерењем се прикупљају подаци о проблему који се решава помоћу тестирања. Тест је један од мерних инструмената, који се састоји од међусобно повезаних задатака којим се нешто мери и установљава. Прецизирани су начини њиховог решавања, као и начини оцењивања односно вредновања постигнутих резултата. У пракси се могу сусрести разни типови тестова као што су:

- према начину решавања задатка: усмени, писмени и тестови тврдњи;
- према начину примењивања: индивидуални и групни;
- према намени: тестови за мерење постојећег стања, прогностички и дијагностички;
- према баждарености теста: стандардизовани и нестандардизовани.

Из напред реализоване анализе прикупљања података, сходно ситуацији, околностима, расположивом времену, локацији чланове групе, за прикупљање података у овом моделу користи се анкета.

3.5.3. Начини исказивања мишљења експерата

Начин исказивања мишљења чланова групе је веома важан, јер директно утиче на коначни резултат одлучивања. Важно је нагласити да је код групног одлучивања неопходно одредити начин обједињавања односно агрегирања мишљења доносилаца одлука у јединствену оцену.

У пракси се могу срести разни начини исказивања и вредновања података, тако да подаци могу бити приказани квантитативно и квалитативно. Квантитативни подаци се исказују нумеричким вредностима, а квалитативни подаци се представљају лингвистичким изразима. Када се реализује анкетирање, интервју или тестирање, као начин за прикупљање података, експертима се може понудити да дају оцену користећи нумеричке и лингвистичке вредности.

На основу анализе за потребе модела користи се семантика заснована на интервалу FFS.

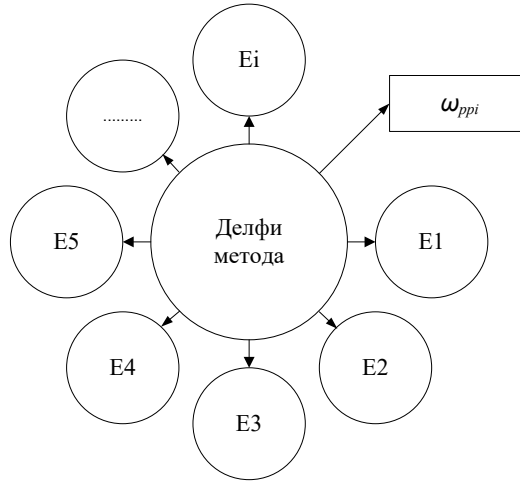
3.6. Делфи метода проширена са FFS

У овој тачки је приказан алгоритам Делфи методе проширен FFS (слика 3.4), који је развијен у моделу, и представља начин за одређивање релативних важности потпроцеса. Предложени модел се реализује кроз следеће кораке:

Корак 1. Дефинисање и слање анкете. Анкета као вид за прикупљање података, омогућава модератору да прикупи одговоре на постављена питања. Анкете су анонимне, како би се смањио међусобни утицај експерта који учествују у анкети. Питања се

формирају тако да буду разумљива, недвосмислена и схватљива. Експерти у овом кораку оцењују важност сваког потпроцеса PP_i , $i=1,...,I$.

Корак 2. Обрада резултата анкетања. Одговори су лингвистички изрази који су моделовани помоћу FFS-а. Агрегирано мишљење експерата о релативној важности сваког потпроцеса ремонта добија се помоћу оператора FFWPA датог у изразу (1), где ω_e - представља важност e - тог експерта.



Слика 3.4 - Одређивање релативне важности потпроцеса (ω_{ppi})

Корак 3. Утврђивање консензуса засновано је на одређивању мере расипања података према стандардној девијацији (Saraji и остали, 2021). Консензус је постигнут уколико је вредност стандардне девијације $\sigma \leq 0.25$ (Milovanović и остали, 2024). За веће вредности стандардне девијације од дефинисаног прага, анкета и резултати из претходног круга се враћају експертима на поновно оцењивање, како би исти имали увид у оцене других експерата и тиме преиспитали своју оцену. Стандардна девијација одређена је на основу израза:

$$\sigma^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1,...,e} \left(\tilde{W}_i - \tilde{W}_i^e \right)^2, \text{ где је: } \tilde{W}_j - \tilde{W}_j^e = d_e \quad (9)$$

где је:

m – укупан број експерата који су учествовали у процени релативних важности потпроцеса,

$\tilde{W}_i$ – вредност обједињених оцена тежине i – тог потпроцеса,

$\tilde{W}_i^e$ – вредност релативне важности дату од e – тог експерта.

Израчунавање дистанци између два FFS реализује се применом Еуклидове метрике.

Корак 4. Поступак се понавља све док се не постигне консензус. За релативне важности потпроцеса ω_{ppi} су узете вредности након што постизања консензуса. Број итерација није ограничен, али пракса је показала да се резултати постижу најчешће до пет итерација.

3.7. Предложене методе за рангирање и оцену KPI

Предложени модел за рангирање KPI процеса ремонта користи методу ELECTRE и VIKOR проширену са FFS. Мерење вредности KPI реализује се помоћу SAW методе проширене са FFS. На даље у раду је приказана анализа алгоритма са алгебром предложених метода.

3.7.1. Алгоритам са алгебром методе ELECTRE проширен FFS

Предложена ELECTRE проширена са FFS (Wu i Chen, 2011; Zhou и остали, 2022) реализује се следеће кроз кораке:

Корак 1: Постављање фази матрицу одлучивања $\tilde{X}_{ij}$. Вредности елемената матрице одлучивања представљају вредности KPI_j на нивоу свих потпроцеса PP_i. Ове вредности су процењене од стране експерата. Експерти своје процене исказују помоћу лингвистички израза које се моделују FFS, у облику $\tilde{X}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$, тако да матрица $\tilde{X}_{ij}$ има следећи запис:

$$\begin{bmatrix} \tilde{X}_{ij} \end{bmatrix}_{I \times J} \quad (10)$$

- где је $\tilde{X}_{ij}^e$ вредност дата у облику FFS: $\tilde{X}_{ij}^e = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$.

Корак 2. Обједињавање оцена KPI_j на нивоу сваког потпроцеса (PP_i), реализовано је помоћу FFS оператора FFWPG према изразу (2), где ω_e - представља важност e - тог експерта, (Senapati i Yager, 2019a).

Корак 3. Одређивање вектора потпроцеса извршено је применом предложене Делфи методе проширене са FFS.

Корак 4. Нормализација фази матрице применом процедуре за FFS, према (Senapati i Yager, 2020) реализује се на основу израза:

$$\tilde{z}_{ij} = \begin{cases} \tilde{z}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}), \\ \left(\tilde{z}_{ij} \right)^c = (\nu_{ij}, \mu_{ij}), \end{cases} \quad (11)$$

тако да нормализована фази матрица има следећи облик:

$$\begin{bmatrix} \tilde{Z}_{ij} \end{bmatrix}_{I \times J}. \quad (12)$$

Корак 5. Формирање матрице сагласности и несагласности:

- строга сагласност је представљена са C_{kl} :

$$C_{kl} = \left\{ j \mid \mu_{kj} \geq \mu_{ij}, \nu_{kj} < \nu_{ij} \text{ i } \pi_{kj} < \pi_{ij} \right\}; \quad (13)$$

- средња сагласност је представљена са C'_{kl} :

$$C'_{kl} = \left\{ j \mid \mu_{kj} \geq \mu_{ij}, v_{kj} < v_{ij} \text{ i } \pi_{kj} \geq \pi_{ij} \right\}; \quad (14)$$

- слаба сагласност је представљена са C''_{kl} :

$$C''_{kl} = \left\{ j \mid \mu_{kj} \geq \mu_{ij}, v_{kj} \geq v_{ij} \right\}; \quad (15)$$

- строга несагласност је представљена са D_{kl} :

$$D_{kl} = \left\{ j \mid \mu_{kj} < \mu_{ij}, v_{kj} \geq v_{ij}, \pi_{kj} \geq \pi_{ij} \right\}; \quad (16)$$

- средња несагласност је представљена са D'_{kl} :

$$D'_{kl} = \left\{ j \mid \mu_{kj} < \mu_{ij}, v_{kj} \geq v_{ij}, \pi_{kj} < \pi_{ij} \right\}; \quad (17)$$

- слаба несагласност је представљена са D''_{kl} :

$$D''_{kl} = \left\{ j \mid \mu_{kj} < \mu_{ij}, v_{kj} < v_{ij} \right\}. \quad (18)$$

Корак 6. Идентификовање тежина сагласности и несагласности $W' = \{\omega_c, \omega'_c, \omega''_c, \omega_D, \omega'_D, \omega''_D\}$ које се израчунава на следећи начин:

- тежина строге сагласности представљена са ω_c :

$$\omega_c = \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \times \left\{ \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C''_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \right\}^{-1}; \quad (19)$$

- тежина средње сагласности представљена са ω'_c :

$$\omega'_c = \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \times \left\{ \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C''_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \right\}^{-1}; \quad (20)$$

- тежина слабе сагласности представљена са ω''_c :

$$\omega''_c = \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \times \left\{ \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in C''_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \right\}^{-1}; \quad (21)$$

- тежина строге несагласности представљена са ω_D :

$$\omega_D = \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \times \left\{ \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f,g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D''_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{ff}, A_{gj}) \right\}^{-1}; \quad (22)$$

- тежина средње сагласности представљена са $\omega_{D'}$:

$$\omega_{D'} = \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) \times \left\{ \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) \right\}^{-1}; \quad (23)$$

- тежина слабе сагласности представљена са ω_{D^*} :

$$\omega_{D^*} = \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) \times \left\{ \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) + \sum_{\substack{f, g=1 \\ f \neq g}}^m \sum_{j \in D'_{fg}} \omega_j \times \bar{d}(A_{fj}, A_{gj}) \right\}^{-1}. \quad (24)$$

Корак 7. Формирање матрице сагласности C_{pq} представља резултат сагласности и њихових тежина, и реализује се према следећем:

$$G = \begin{bmatrix} - & g_{12} & \dots & g_{1m} \\ g_{21} & - & \dots & g_{2m} \\ g_{(m-1)1} & \dots & - & g_{(m-1)m} \\ g_{m1} & g_{m2} & g_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

$$\text{- где је: } g_{ki} = \omega_c \times \sum_{j \in C_{ki}} \omega_j + \omega'_c \times \sum_{j \in C'_{ki}} \omega_j + \omega''_c \times \sum_{j \in C''_{ki}} \omega_j \quad (25)$$

тако да матрица сагласности има облик:

$$K = \begin{bmatrix} - & k_{12} & \dots & k_{1m} \\ k_{21} & - & \dots & k_{2m} \\ k_{(m-1)1} & \dots & - & k_{(m-1)m} \\ k_{m1} & k_{m2} & k_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}, \quad (26)$$

- где је $k_{ki} = g^* - g_{ki}$, g^* максимални индекс слагања.

Корак 8. Формирање матрице несагласности D_{pq} која представља резултат несагласности и њихових тежина, формирана је у следећем облику:

$$H = \begin{bmatrix} - & h_{12} & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & - & \dots & h_{2m} \\ h_{(m-1)1} & \dots & - & h_{(m-1)m} \\ h_{m1} & h_{m2} & h_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}, \quad (27)$$

$$\text{- где је: } h_{ki} = \frac{\max_{j \in D_{ki}} \omega_D^* \times d(X_{kj}, X_{ij})}{\max_{j \in J} d(X_{kj}, X_{ij})}, \text{ односно } \omega_D^* = \{\omega_D, \omega'_D, \omega''_D\},$$

матрица несагласности је:

$$L = \begin{bmatrix} - & l_{12} & \dots & l_{1m} \\ l_{21} & - & \dots & l_{2m} \\ l_{(m-1)1} & \dots & - & l_{(m-1)m} \\ l_{m1} & l_{m2} & l_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}, \quad (28)$$

- где је: $l_{ki} = h^* - h_{ki}$, h^* максимални индекс неслагања.

Корак 9. Формирање матрице доминације R , која представља агрегацију матрице сагласности и матрице несагласности, и има следећи облик:

$$R = \begin{bmatrix} - & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & - & \dots & r_{2m} \\ r_{(m-1)1} & \dots & - & r_{(m-1)m} \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}, \quad (29)$$

- где је: $r_{ki} = \frac{l_{ki}}{k_{ki} + l_{ki}}$.

Корак 10. Одређивање вредности KPI_j реализује се према следећем:

$$KPI_j = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1, l \neq k}^m r_{kl}, \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (30)$$

Корак 11. Рангирање KPI реализује се сортирањем вредности од највеће ка најмањој, тако да је најбољи онај KPI_j који има максималну вредност $A = \max \{KPI_j\}$.

3.7.2. Алгоритам са алгебром методе VIKOR проширен FFS

Предложени VIKOR метод који је проширен са FFS (Gul, 2021) реализује се у седам корака:

Корак 1. Формирање фази матрице одлучивања $\tilde{X}_{ij}$, која представља процењене вредности KPI_j , $j = 1, 2, \dots, J$, где је J - број кључног индикатора перформанси, у односу на потпроцес PP_i , $i = 1, 2, \dots, I$, I - број потпроцеса, дефинисан од стране e - тог експерта, $e = 1, 2, \dots, E$, где је E - број експерта.

Фази матрица одлучивања $\tilde{X}_{ij}$ има следећи облик:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{ij} \\ \tilde{x}_{ij} \end{bmatrix}_{I \times J} \quad (31)$$

- где је $\tilde{x}_{ij}^e$ вредност дата у облику FFS: $\tilde{x}_{ij}^e = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$.

Корак 2: Обједињавање оцена KPI_j на нивоу сваког потпроцеса (PP_i), одређује се помоћу FFS оператора пондерисана геометријска средина (FFWGA), према изразу (2) где ω_e - представља важност e - тог експерта, (Senapati i Yager, 2019a).

Корак 3: Нормализација фази матрице применом процедуре за FFS према (*Senapati i Yager, 2020*):

$$\tilde{z}_{ij} = \begin{cases} \tilde{z}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}), \\ \left(\tilde{z}_{ij}\right)^c = (\nu_{ij}, \mu_{ij}), \end{cases} \quad (32)$$

при чему нормализована фази матрица има следећи облик:

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}_{ij} \end{bmatrix}_{I \times J}. \quad (33)$$

Корак 4: Одређивање највеће $\tilde{z}_i^+$ и најмање $\tilde{z}_i^-$ вредности датог потпроцеса (*Gul, 2021*),:

$$\tilde{z}_i^+ = \max(\tilde{z}_{ij}, i = 1, \dots, n), \text{ односно } \tilde{A}^+ = \left\{ \tilde{z}_{ij} \text{ где } \max_i < sc(\tilde{z}_{ij}) i = 1, \dots, m \right\}, \quad (34)$$

$$\tilde{z}_i^- = \min(\tilde{z}_{ij}, i = 1, \dots, n), \text{ односно } \tilde{A}^- = \left\{ \tilde{z}_{ij} \text{ где } \min_i < sc(\tilde{z}_{ij}) i = 1, \dots, m \right\}. \quad (35)$$

Елемент $\tilde{A}^+$ приказан су као $\tilde{z}_i^+ = (\mu_j^+, \nu_j^+)$, а елементи $\tilde{A}^-$ приказани су $\tilde{z}_i^- = (\mu_j^-, \nu_j^-)$.

Корак 5: Вредност групне корисности S_j за сваки KPI, израчуната је према процедури приказаној у ради *Gul (2021)*:

$$S_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ppi} \left(\frac{\tilde{z}_i^+ - \tilde{z}_{ij}}{\tilde{z}_i^+ - \tilde{z}_i^-} \right), j = 1, 2, \dots, m, \text{ односно } S_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ppi} \frac{d_{euc}(\tilde{z}_{ij}, \tilde{z}_i^+)}{d_{euc}(\tilde{z}_i^-, \tilde{z}_i^+)}, \quad (36)$$

- где је ω_{ppi} - релативна важност сваког PP_i , d_{euc} - Еуклидове дистанце.

Корак 6: Вредности индивидуалног одступања R_j за сваки KPI, израчуната је према процедури развијеној у ради *Gul (2021)*:

$$R_j = \max_i \left[\omega_{ppi} \left(\frac{\tilde{z}_i^+ - \tilde{z}_{ij}}{\tilde{z}_i^+ - \tilde{z}_i^-} \right) \right], j = 1, 2, \dots, m, \text{ односно } R_j = \max_i \left\{ \omega_{ppi} \frac{d_{euc}(\tilde{z}_{ij}, \tilde{z}_i^+)}{d_{euc}(\tilde{z}_i^-, \tilde{z}_i^+)} \right\}, \quad (37)$$

- где је ω_{ppi} - релативна важност сваког PP_i , дистанце између два FFS су рачунате коришћењем Еуклидове дистанце (4).

Корак 7: Одређивање тежине критеријума максимизовања групног обележја ν , $\nu \in [0, 1]$, реализовано је према изразу (*Opricović i Tzeng, 2005*):

$$\nu = \frac{i+1}{2i} \quad (38)$$

- где је i – укупан број потпроцеса, а вредност $1-\nu$ представља тежину индивидуалног губитка прилике.

Корак 8: Рачунање вредности за Q_j (компромисно решење) за сваки КРІ израчуната је према (Opricović i Tzeng, 2004):

$$Q_j = \nu \times \frac{S_j - S^+}{S^- - S^+} + (1-\nu) \times \frac{R_j - R^+}{R^- - R^+}; j = 1, 2, \dots, m, \quad (39)$$

где је:

$$S^- = \max_i (S_j, j = 1, \dots, n) \text{ и } S^+ = \min_i (S_j, j = 1, \dots, n), \quad (40)$$

$$R^- = \max_i (R_j, j = 1, \dots, n) \text{ и } R^+ = \min_i (R_j, j = 1, \dots, n). \quad (41)$$

Корак 9: Сортирање вредности R_j , S_j и Q_j реализује су за сваки КРІ.

Према (Opricović i Tzeng, 2005) најбоља алтернатива, односно КРІ чија је вредност Q_j најмања, тако да је КРІ_j бољи од КРІ_k ако је $Q_j < Q_k$. Такође може се закључити да је најбоља вредност оног КРІ која је најмање удаљена од идеалне вредности, односно чија је вредност Q_j минимална.

3.7.3. Алгоритам са алгебром SAW методе проширен FFS

Математички алгоритам SAW методе која је проширена са FFS извршава се кроз следеће кораке (Gul, 2021):

Корак 1: Формирање фази матрице одлучивања $\tilde{X}_{ij}$, представља процењене вредности KPI_j , $j = 1, 2, \dots, J$, где J - представља број кључног индикатора перформанси, у односу на потпроцес PP_i , $i = 1, 2, \dots, I$, где I - представља број потпроцеса, од стране e - тог експерта, $e = 1, 2, \dots, E$, где је E – представља број експерта.

Фази матрица одлучивања $\tilde{X}_{ij}$ има следећи облик:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{ij} \end{bmatrix}_{I \times J} \quad (42)$$

- где је $\tilde{x}_{ij}^e$ вредност дата у облику FFS: $\tilde{x}_{ij}^e = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$.

Корак 2: Обједињавање оцена КРІ_j на нивоу сваког потпроцеса (PP_i) је реализовано помоћу оператора FFWGA према изразу (2), где ω_e - представља важност e - тог експерта, (Senapati i Yager, 2019a).

Корак 3: Нормализација фази матрице која се реализује применом процедуре за FFS према (Senapati i Yager, 2020), тако да нормализована фази матрица има следећи облик:

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}_{ij} \end{bmatrix}_{I \times J} \quad (43)$$

$$\text{- где је: } \tilde{z}_{ij} = \begin{cases} \tilde{z}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}), \text{ ако су потпроцеси бенефитног типа,} \\ \left(\tilde{z}_{ij} \right)^c = (\nu_{ij}, \mu_{ij}), \text{ ако су потпроцеси типа кост.} \end{cases}$$

Корак 4: Израчунавање релативне важности потпроцеса ω_{ppi} се реализује помоћу фази Делфи методе. Формирање отежане фази нормализоване матрице одлучивања је реализовано у облику:

$$\left[\tilde{R}_{ij} \right]_{I \times J} \quad (44)$$

$$\text{- где је: } \tilde{R}_j = \omega_{ppi} \tilde{Z}_{ij} = \omega_{ppi} (\mu_{ij}, \nu_{ij}).$$

Корак 5: Формирање адитивне отежане нормализоване фази матрице је реализовано у облику:

$$\left[\tilde{SAW}_j \right]_{I \times J} \quad (45)$$

$$\text{- где је: } \tilde{SAW}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{R}_{ij}.$$

Корак 6: Дефазификација вредности SAW_j која се реализује према дефинисаним правилима за FFS (*Senapati i Yager, 2020*):

$$KPI_j = sc\left(\tilde{SAW}_j\right) = \mu_{ij}^3 - \nu_{ij}^3, \quad (46)$$

$$KPI_j = acc\left(\tilde{SAW}_j\right) = \mu_{ij}^3 + \nu_{ij}^3. \quad (47)$$

Након завршене дефазификације, добијене вредности KPI_j у *crisp* облику представљају измерене вредности KPI_j .

3.8. Анализа методе сличности

Компаративна анализа резултата КРІ добијених помоћу методе ELECTRE и VIKOR метода проширених са FFS-овима реализована је помоћу методе сличности коју су развили Salabun i Urbaniak (*Salabun i Urbaniak*, 2020). Резултати методе показују који КРІ су истих, сличних и приближно сличних рангова, на основу чега је донета одлука који КРІ се користи за мерење перформанси процеса ремонта помоћу SAW методе.

Коефицијент сличности рангирања (WS), израчунава се на следећом једначином (*Salabun i Urbaniak*, 2020):

$$WS = 1 - \sum_i^J 2^{-R_{x_i}} \frac{|R_{x_i} - R_{y_i}|}{\max\{|1 - R_{x_i}|, |I - R_{x_i}|\}} \quad (48)$$

- где је: J – укупан број КРІ, R_{x_i} и R_{y_i} средње место за j -ти КРІ.

Према ауторима (*Salabun i Urbaniak*, 2020) када је вредност $WS < 0,234$ сматра се да не постоји сличност у рангирању КРІ. Ако је $0,352 < WS < 0,689$ сличност у рангирању КРІ постоји али веза није значајно јака. Када је $WS \geq 0,802$ може се сматрати да је сличност рангирања КРІ апсолутна, чиме је остварена стабилност решења.

3.9. Алгебра генетског алгоритма

У наредним корацима је приказана алгебра генетског алгоритма:

Корак 1. Одређивање референтне вредности КРІ-ова, r_{ie} и измерене вредности КРІ-ова r_{sr} .

Корак 2. Одређивање укупног пондерисаног коефицијента КРІ, у којима КРІ имају циљне вредности:

$$S_{\max} = \sum_{j=1}^J a_j \cdot \sum_{e=1}^E 1 \cdot w_j \quad Var_{\max} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^I a_i \cdot \sum_{e=1}^E w_i \cdot (1 - r_{sr})^2}}{I \cdot E}, \quad (49)$$

- где је: $S_{\max} = \sum_{i=1}^I w_i \cdot 1$, $S' = \sum_{i=1}^I w_i \cdot r_{ie}$.

Корак 3. Одређивање вредности побољшања изабраних КРІ-ова за сваки ниво функције припадности μ_{w_i} , $i = 1, \dots, I$.

Функција циља се може дефинисати као: $\min \left\{ \left[S' + \delta \cdot (S_{\max} - S') \right] - \sum_{i=1}^I \delta_{ie} \cdot S' \right\}, \quad (50)$

ако је: $\delta = \sum_{i=1}^I \delta_{ie} \leq 0,1$, $i = 1, \dots, I$, односно $r_{ie} \leq 1$, $i = 1, \dots, I$; $e = 1, \dots, E$.

4. МЕРЕЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПРОЦЕСА РЕМОНТА НА ОСНОВУ РАЗВИЈЕНОГ МОДЕЛА

У овом поглављу реализовано је тестирање предложеног модела на примеру процеса ремонта сложених техничких система. Модел је тестиран кроз фазе које су дефинисане у претходном поглављу а на основу слике 3.1.

4.1. Одређивање важности КРІ за процес ремонта техничких система

Имплементација предложеног модела отпочиње идентификовањем КРІ-ова и потпроцеси PP_i . Помоћу Делфи методе одређене су релативне важности потпроцеса, а затим је на основу метода вишекритеријумског одлучивања реализовано рангирање КРІ-ова.

Фаза 1: Процес ремонта дефинише технологију одржавања сходно сложености техничког система. Применом НПРО методе, процес ремонта је декомпонован на кључне технолошке потпроцесе, и то:

- PP_1 –дефектација у склопљеном стању обухвата следеће активности:
 - испитивање системских целина у циљу провере одступања и неисправности које не могу бити уочене на растављеном средству,
 - евидентирање примедби из пратеће документације о понашању средства у експлоатацији,
 - проверава комплетности средства (алата, земаљске опреме, склопова и делова) и пратеће документације.
 - проверава усаглашености серијских бројева средства, мотора, и виталне опреме са подацима из пратеће документације. Утврђује се опште техничко стање средства, мотора, опреме и стање флуида.
 - формира се примопредајна документација.
- PP_2 – демонтажа склопова, подсклопова и делова, која обухвата следеће активности:
 - демонтажа средстава према прописаном обиму, дефинисаном техничком документацијом,
 - чишћење, прање и скидање боје према прописаним поступцима. Делови за спајање се сортирају по припадајућим системским целинама и њима одговарајућим кутијама,
 - затварање свих слободних отвора технолошким чеповима, док се лежајеви, кућишта на спојевима командних полуга заштићују се пластичном фолијом,
 - заштита пластичном фолијом свих конектора електричне и коаксијалне инсталације уколико се не демонтирају са средства.
- PP_3 – оправка склопова, подсклопова и опреме и регенерација резервних делова, која обухвата следеће активности:
 - дефектација, дефектоскопија, рендгенска снимања, микрометарска мерења и оправке структуре и командних површина, као и дефектација и оправка цевне и електро инсталације,

- обележавање свих неисправних места и формирање листе неисправности ради оправке у специјализованим радионицама,
 - провера стања свих не демонтираних цеви са са циљем утврђивања да нема трагова додиривања, прскотина, зареза, овалности, недовољног радијуса, недовољног размака између цеви и структуре. Неисправне цеви се у процесу ремонта замењују ново израђеним,
 - провера стања електро и коаксијалне инсталације са посебном пажњом ради утврђивања стања изолације и заштите, стања споја са структуром, разводницима и разводним кутијама као и исправности конектора,
 - електро хемијска заштита и унутрашње бојење средства,
 - дефектација, оправка и испитивање агрегата и уређаја по системским целинама у специјализованим радионицама,
 - визуелни преглед и претходно испитивање агрегат/уређај пре растављања у оквиру технолошког процеса, преглед свих делова, отклањање неисправности, замена заптиваног материјала, састављање, подешавање и функционално испитивање.
- РР₄ – монтажа, подешавање и парцијална испитивања обухватају следеће активности:
 - монтажа се врши обрнутим редоследом од демонтаже уз претходну проверу стања простора за монтажу, стања агрегата и опреме и коректност пратеће и верификационе документације,
 - провера, подешавање и разрада свих демонтираних склопова, провера херметичности кабине и херметичности системских целина,
 - спајање глобалне структурне целине средства и уградња погонске групе.
 - РР₅ – завршне провере, која се састоји из следећих активности:
 - провера функционалности свих система као целина као и посебна подешавања система,
 - пуњење средства горивом и осталим флуидима,
 - припрема, унутрашња деконзервација, покретање мотора и провера рада мотора на свим предвиђеним режимима. Провера рада системских целина при раду мотора.
 - РР₆ – бојење средстава обухвата следеће активности:
 - одмашћивање спољних површина средства и припрема за бојење,
 - бојење средства према оригиналном узорку и варијанти камуфлажног (маскирног) бојења које је предвиђено и наношење спољних ознака,
 - нивелација и вагање средства ради провере центра масе.
 - РР₇ – испитивања обухватају следеће активности:
 - функционалне провере комплетног средства у складу са програмом испитивања конкретног средства,
 - припрема средства за предају кориснику.

- PP₈ – верификација процеса ремонта и попуњавање документације састоји се од следећих активности:
 - формирање листе прегледа промена, комплетности агрегата, дефектоскопије, квара, површинске заштите, испитивања, квара причврсног материјала, карактеристика опруга, микрометарског мерења, потрошног материјала, комплетности и материјала повремене замене,
 - унос информација о коришћеној мерној опреми (назив, серијски број, датум до када је метролошки потврђена и број записника),
 - потврда изведених радова потписом од стране извршилаца радова.
- PP₉ – индентификација и процена ризика обухвата следеће активности:
 - праћење и документовање техничких захтева за услове околине који могу утицати на резултате испитивања,
 - прекид испитивања уколико се угрозе услови околине,
 - контрола и периодична верификација од стране овлашћених институција,
 - дефинисање конкретних и специфичних захтева за радном средином у складу са врстом посла који се у њима обавља,
 - израда упутства као документа система квалитета,
 - утврђивање параметара услова рада, начина њиховог обезбеђења и контроле.

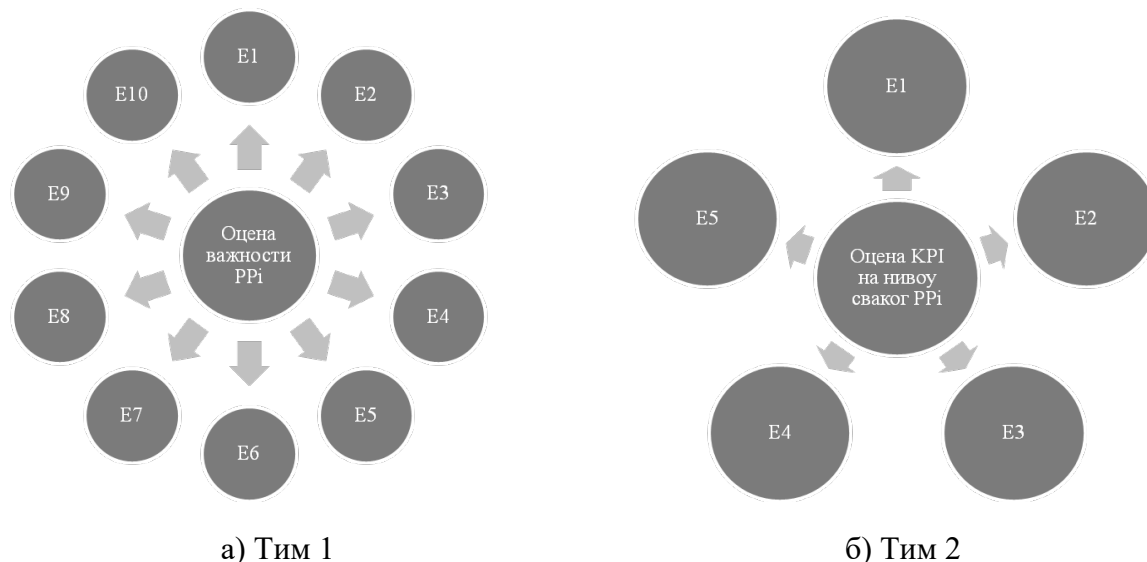
Од стране пословне организације дефинисани су следећи KPI-ови:

- KPI₁ – расположивост заштитне опреме потребне у процесу ремонта средстава;
- KPI₂ – задовољство корисника услугом ремонта;
- KPI₃ – материјално обезбеђење резервним деловима и потрошним материјалом,
- KPI₄ – степен примене мера заштите на раду у процесу ремонта,
- KPI₅ – расположивост општих и специјалних алата и опреме,
- KPI₆ – ниво потребног знања и вештина стручних лица,
- KPI₇ – степен координације са осталим целинама ремонтне организације,
- KPI₈ – могућност праћења савремених трендова ремонта,
- KPI₉ – степен усаглашености процедура,
- KPI₁₀ – расположивост стручних лица,
- KPI₁₁ – доступност техничке документације и литературе, и
- KPI₁₂ – расположивост радионичких капацитета.

Фаза 2: За потребе модела формирана су два тима експерата (слика 4.1), од којих *Тим 1* има задатак да оцени важност потпроцеса, док *Тим 2* има задатак да оцени сваки KPI на нивоу сваког потпроцеса PP_i.

У *Тиму 1* учествује десет експерата ($e=E_1, \dots, E_{10}$) из области одржавања, који су запослени ван ремонтне организације која се тестира.

У Тиму 2 учествује пет експерата ($e=E_1, E_2, E_3, E_4$ и E_5) који се баве ремонтом сложених техничких система, и сви су из састава ремонтне организације. Такође Тим 2 је имао задатак да у 6. фази на одабраним КРІ-овима оцени потпроцесе ремонта, који су дали коначну слику о перформансама процеса ремонта сложених техничких система.



Слика 4.1 - Фаза 2. а) Оцена важности PP_i и б) Оцена KPI на нивоу сваког PP_i

Фаза 3. Применом Делфи методе одређене су релативне важности потпроцеса (ω_{ppi}). На основу анкете експерти су оценили важност потпроцеса (од PP_1 до PP_9). За оцењивање важности експерти су користили лингвистичке изразе (Zhou и остали, 2022) приказане у Табели 4.1. У овом примеру сви експерти у Тиму 1 имају исту важност, тако да је $\omega_e=0.1$. Уколико Тим 1 сматра да је мишљење неког од експерата важније од осталих, модел је направљен тако да дозвољава доделу друге вредности, али се мора водити рачуна да збир значаја (важности) свих експерата буде $\sum_{e=1}^n \omega_e = 1$.

Табела 4.1. - Лингвистички изрази за оцену важности потпроцеса, на основу (Zhou и остали, 2022)

Лингвистички изрази	FFS
Апсолутно важно (енг. Absolutely Important - AI)	(0.98, 0.02)
Веома важно (енг. Very Important - VI)	(0.9, 0.6)
Важно (енг. Important - I)	(0.8, 0.65)
Средње важно (енг. Medium Important - MI)	(0.75, 0.6)
Просечно (енг. Average - A)	(0.5, 0.5)
Средње небитно (енг. Medium irrelevant - MIR)	(0.6, 0.7)
Небитно (енг. Irrelevant - IR)	(0.7, 0.8)
Веома небитно (енг. Very Irrelevant - VIR)	(0.6, 0.9)
Апсолутно небитно (енг. Absolutely Irrelevant - AIR)	(0.02, 0.98)

За испитивање и усаглашавање експерата око добијених вредности релативних важности потпроцеса ω_{ppi} , односно достигнуће консензуса, као мера консензуса коришћена је варијанса „ σ “ одређена према изразу (9).

На основу извршене анализе за постизање консензуса, дефинисан је нови критеријум тако да је $\sigma \leq 0.25$ (Milovanović и остали, 2024), што значи да ако су релативне важности потпроцеса ω_{pp_i} такве да њихова варијанса има вредности веће од дефинисаног прага, консензус није постигнут и иде се на следећу итерацију оцењивања, а ако је њихова варијанса једнака или испод дефинисаног прага, консензус је постигнут и прихватају се добијене вредности ω_{pp_i} . У овом моделу за одређивање дистанци узета је Еуклидова дистанца за FFS, који се израчунава на основу израза (3).

У првој итерацији, на основу резултата анкете, експерти су оценили важност потпроцеса са резултатима приказаним у Табели 4.2. Моделовање лингвистичких израза реализовано је помоћу FFS (Табела 1). Обједињавање оцена на нивоу сваког потпроцеса реализован је помоћу оператора FFWPA, односно израза (1).

У првој итерацији експерти нису постигли консензус јер је вредност варијансе потпроцеса била у распону од $\sigma=0.21$ до $\sigma=0.35$, чиме је пређен праг консензуса ($\sigma \leq 0.25$).

Табела 4.2. - Оцена важности потпроцеса од стране експерата у првој итерацији

e_i	PP_1	PP_2	PP_3	PP_4	PP_5	PP_6	PP_7	PP_8	PP_9
E_1	VI	I	MI	MI	IR	IR	VI	MI	VIR
E_2	AI	MI	MI	AI	MIR	VIR	AI	MIR	I
E_3	VI	MI	I	VIR	MIR	AIR	IR	IR	VI
E_4	AI	A	AI	VI	VI	VI	MI	AIR	IR
E_5	AI	MI	AIR	MI	I	IR	I	AI	VI
E_6	AI	MIR	MI	I	A	MI	VIR	I	MI
E_7	IR	AI	I	MI	VIR	AI	VI	VIR	VI
E_8	MI	MI	VI	I	AIR	VIR	AIR	AIR	AI
E_9	VI	AIR	I	VIR	VI	AI	I	VIR	I
E_{10}	AI	MI	IR	VIR	AI	AI	VI	IR	AIR

Услед не постизања консензуса приступа се другој итерацији. Експертима је враћена анкета на поновно оцењивање и резултати оцењивања из прве итерације како би имали увид у оцену других експерата и тиме преиспитали своју процену и можда приближили своју оцену.

Резултати оцењивања експерата у другој итерацији дати су у Табели 4.3.

Табела 4.3 - Оцена важности потпроцеса од стране експерата у другој итерацији

e_i	PP_1	PP_2	PP_3	PP_4	PP_5	PP_6	PP_7	PP_8	PP_9
E_1	VI	I	MI	MI	AI	VI	I	I	VIR
E_2	AI	MI	MI	VI	MIR	IR	I	I	I
E_3	VI	MI	I	MI	MIR	MI	IR	MI	I
E_4	AI	A	I	I	R	VI	VI	MI	I
E_5	VI	MI	MI	MI	MI	A	I	A	VI
E_6	AI	MIR	MI	I	I	IR	VIR	VI	MIR
E_7	IR	AI	VI	MI	AI	I	VI	I	VI
E_8	MI	MI	I	VI	I	VIR	I	MIR	MIR
E_9	VI	AI	I	MI	MI	VI	I	MI	I
E_{10}	AI	MI	VI	VIR	MI	I	VI	MIR	I

Варијансе потпроцеса у другој итерацији су имале вредност у распону од $\sigma=0.09$ до $\sigma=0.25$ што је испод дефинисаног прага, чиме је постигнут консензус, односно експерти су се усагласили да потпроцеси (од PP_1 до PP_9) имају следеће релативне важности:

$$\omega_{pp_1} = 0.26; \omega_{pp_2} = 0.13; \omega_{pp_3} = 0.12; \omega_{pp_4} = 0.10; \omega_{pp_5} = 0.12; \omega_{pp_6} = 0.06; \omega_{pp_7} = 0.09; \omega_{pp_8} = 0.07; \omega_{pp_9} = 0.06.$$

На основу добијених резултата, експерти су највећу тежину дали потпроцесу „претходна дефектација“, који има за циљ да тачно утврди отказ на средству, као и да утврди узрок истих. Потпроцеси „демонтажа склопова, подсклопова и резервних делова“, „оправка склопова, подсклопова и опреме, регенерација резервних делова“, „монтажа, подешавање и парцијална испитивања“, „завршне провере“, „испитивања“ имају приближну релативну важност јер су експертима скоро подједнако важни у процесу ремонта. Потпроцеси „бојење средства“, „верификација процеса ремонта“ и „идентификација и процена ризика“ имају мањи релативни значај према мишљењу експерата.

Фаза 4. Оцењивање КРІ на нивоу сваког потпроцеса PP_i од стране *Тима 2* експерата реализује се на основу анкете.

За оцењивање КРІ-ова експерти користе лингвистичке изразе (Zeng и остали, 2023), дате у Табели 4.4. Што се тиче значаја експерата, у овом примеру сви експерти у Тиму 2 имају исту важност, тако да је $\omega_e=0.2$. Уколико Тим 2 сматра да је мишљење неког од експерата важније од осталих, модел је направљен тако да дозвољава доделу друге вредности, али се мора водити рачуна да збир значаја свих експерата буде једнака

$$\sum_{e=1}^n \omega_e = 1.$$

Табела 4.4 - Лингвистички изрази за оцену КРІ на нивоу потпроцеса, на основу (Zeng и остали, 2023)

Лингвистички изрази	FFS
Веома прихваљиво (енг. Very Eligible - VE)	(0.9, 0.2)
Прихватљиво (енг. Eligible - E)	(0.8, 0.3)
Средње прихватљиво (енг. Medium Eligible - ME)	(0.7, 0.5)
Средње (енг. Medium - G)	(0.6, 0.6)
Средње неквалификовано (енг. Medium Unqualified - MU)	(0.5, 0.7)
Неквалификовано (енг. Unqualified - U)	(0.3, 0.8)
Веома неквалификовано (енг. Very Unqualified - VU)	(0.2, 0.9)

Након оцењивања извршено је прикупљање анкета и обрада резултата. Оцене које су дате од стране Тима 2 у виду лингвистичких израза (Прилог 1), моделоване су са FFS (Прилог 2).

У следећем кораку реализовано је обједињавање оцена КРІ на нивоу сваког потпроцеса, на основу оператора обједињавања FFWPG (2).

Добијени резултати (Прилог 3), представљају вредности за фази матрице одлучивања у методама ELECTRE према изразу (10) и VIKOR према изразу (31).

Фаза 5. Рангирање KPI-ова реализовано је помоћу метода вишекритеријумског одлучивања (VIKOR и ELECTRE). Фази матрицу одлучивања $\tilde{X}_{ij}$ према изразу (10) чине резултати добијени у претходној фази.

а) Рангирање KPI-ова помоћу ELECTRE методе реализује се кроз следеће кораке:

На основу алгоритма предложеног у тачки 3.7.1, радње дефинисане од корака 1. до корака 4., реализоване су у фази 4., тако да је имплементација резултата у методу ELECTRE настављена од корака 5.

Корак 5: На основу фази матрице одлучивања $\tilde{X}_{ij}$ формирана је матрица сагласности и несагласности:

- строга сагласност је представљена са C_{kl} према изразу (13), и дата у Прилогу 4.
- средња сагласност је представљена са C'_{kl} према изразу (14):

$$C'_{kl} = \begin{pmatrix} - & 5,9 & - & 1 & 6 & 3 & - & - & 5 & 5 & - & - \\ 2 & - & - & 1,2,6 & - & - & - & 8 & 6 & 6 & 6,8 & - \\ - & 4,9 & - & 2,6,9 & - & 5 & - & - & 6 & 6,9 & 6 & 9 \\ - & 3,4,7,9 & 3,4 & - & - & - & - & 8 & 6 & 6,9 & 6,8 & 4 \\ 2 & 4,9 & 3 & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ - & 4,9 & - & 2 & - & - & - & - & - & - & 9 & - \\ - & 7,9 & - & - & - & 5 & - & 6,8 & 6 & 8 & 8 & - \\ 2,4,9 & 7,9 & 3 & 2 & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 2 & 2,4,9 & - & 2,9 & - & - & - & 2 & - & 9 & 4 & 9 \\ 4 & 5,9 & - & 2 & - & - & - & 4 & 6 & - & - & - \\ - & 5,9 & - & 2 & - & - & - & 8 & 6 & 5 & - & - \\ - & 4,5,9 & 3 & 2 & - & - & - & - & 6 & 5 & - & - \end{pmatrix}$$

- слаба сагласност је представљена са C''_{kl} према изразу (15):

$$C''_{kl} = \begin{pmatrix} - & 1 & - & - & 7 & 7 & 2,8 & - & - & - & - & - \\ 1,3 & - & 5,6,8 & 5,8 & - & 5 & 5 & 4,5 & 3 & 4 & - & - \\ 3 & 3,6 & - & - & - & 3 & 5 & - & 3,9 & 1,4 & - & 4 \\ 2,3 & - & - & - & 1,2 & 1 & 1,2,6,7 & 1,7 & - & - & 1 & - \\ 7 & - & 9 & - & - & 1,4,7 & 2,8 & 1 & 9 & - & 1 & - \\ 7 & - & 9 & - & 4,7 & - & 8 & - & 3,9 & - & - & - \\ - & - & 5 & 7 & - & - & - & 7,9 & - & - & - & - \\ 6 & 2 & - & 7 & - & - & 7 & - & - & - & 1 & - \\ 6 & - & 5,9 & 5,7 & 6 & 5,6,8 & 5,7,8 & 6,7 & - & 5 & 5 & 1,5,7 \\ 6 & - & 1,5 & 5,7 & 6 & - & 5,6,7 & 6,7 & 2 & - & 6 & - \\ 6 & - & 9 & 5,7,9 & 4,6 & 4 & 6,7 & 1,6,7,9 & 2,9 & 6,9 & - & 5,9 \\ - & 2 & 4 & 5,7 & - & - & 7,8 & 2,7 & 1,2,7 & 4 & 5 & - \end{pmatrix}$$

- строга несагласност је представљена са D_{kl} према изразу (16), и дата у Прилогу 5.
- средња несагласност је представљена са D'_{kl} према изразу (17):

$$D'_{kl} = \begin{pmatrix} - & 2 & - & - & 2 & - & - & 2,4,9 & 2 & 4 & - & - \\ 5,9 & - & 4,9 & 3,4,7,9 & 4,9 & 4,9 & 7,9 & 7,9 & 2,4,9 & 5,9 & 5,9 & 4,5,9 \\ - & - & - & 3,4 & 3 & - & - & 3 & - & - & - & 3 \\ 1 & 1,2,6 & 2,6,9 & - & - & 2 & - & 2 & 2,9 & 2 & 2 & 2 \\ 6 & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 3 & - & 5 & - & - & - & 5 & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ - & 8 & - & 8 & - & - & 6,8 & - & 2 & 4 & 8 & - \\ 5 & 6 & 6 & 6 & - & - & 6 & - & - & 6 & 6 & 6 \\ 5 & 6 & 6,9 & 6,9 & - & - & 8 & - & 9 & - & 5 & 5 \\ - & 6,8 & 6 & 6,8 & - & 9 & 8 & - & 4 & - & - & - \\ - & - & 9 & 4 & - & - & - & - & 9 & - & - & - \end{pmatrix}$$

- слаба несагласност је представљена са D''_{kl} према изразу (18):

$$D''_{kl} = \begin{pmatrix} - & 3 & 3 & 2,3 & - & - & - & 6 & 6 & 6 & 6 & - \\ - & - & 3 & - & - & - & - & 2 & - & - & - & 6 \\ - & 5,7 & - & - & 9 & 9 & - & - & 5 & 5 & 9 & - \\ - & 5,8 & - & - & - & - & - & - & 5,7 & 5,7 & 5,7,9 & 5,7 \\ - & - & - & 1,2 & - & - & - & - & 6 & 6 & 4,6 & - \\ - & 5 & 3 & 1 & 1 & - & - & - & 5,6,8 & - & 4 & - \\ 2,8 & 5 & - & 1,2,6 & 2,8 & 8 & - & - & 5,7,8 & 5,6,7 & 6,7 & 7,8 \\ - & 4,5 & - & 1 & 1 & - & 9 & - & 6,7 & 6,7 & 6,7,9 & 2,7 \\ - & 3 & 3 & - & 9 & 3,9 & - & - & - & 2 & 2,9 & 2 \\ - & 4 & 4 & - & - & - & - & - & 5 & - & 9 & 4 \\ - & - & - & 1 & 1 & - & - & - & 5 & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - & 5 & - & 9 & - \end{pmatrix}$$

Корак 6: Идентификовање тежина сагласности и несагласности $W' = \{\omega_c, \omega'_c, \omega''_c, \omega_D, \omega'_D, \omega''_D\}$ реализовано је према изразима (19, 20, 21, 22, 23 и 24) при чему су добијене следеће вредности:

$$\omega_c = 0.753; \omega'_c = 0.116; \omega''_c = 0.131; \omega_D = 0.7558; \omega'_D = 0.1148; \omega''_D = 0.1294.$$

Корак 7: Формирање матрице сагласности „K“ реализовано је према изразима (25 и 26) и добијени су следећи резултати:

$$K = \begin{pmatrix} - & 0,45 & 0,46 & 0,38 & 0,41 & 0,21 & 0,15 & 0,22 & 0,40 & 0,49 & 0,22 & 0,46 \\ 0,44 & - & 0,59 & 0,54 & 0,29 & 0,28 & 0,18 & 0,34 & 0,60 & 0,60 & 0,41 & 0,62 \\ 0,10 & 0,24 & - & 0,35 & 0,24 & 0,21 & 0,09 & 0,02 & 0,25 & 0,42 & 0,27 & 0,26 \\ 0,43 & 0,58 & 0,44 & - & 0,53 & 0,36 & 0,33 & 0,31 & 0,53 & 0,53 & 0,57 & 0,56 \\ 0,24 & 0,31 & 0,37 & 0,20 & - & 0,24 & 0,11 & 0,26 & 0,32 & 0,29 & 0,33 & 0,25 \\ 0,39 & 0,39 & 0,47 & 0,37 & 0,50 & - & 0,12 & 0,00 & 0,44 & 0,29 & 0,21 & 0,34 \\ 0,46 & 0,48 & 0,47 & 0,48 & 0,50 & 0,49 & - & 0,42 & 0,54 & 0,54 & 0,54 & 0,51 \\ 0,49 & 0,50 & 0,54 & 0,51 & 0,40 & 0,49 & 0,23 & - & 0,53 & 0,62 & 0,59 & 0,53 \\ 0,28 & 0,18 & 0,46 & 0,25 & 0,25 & 0,32 & 0,16 & 0,13 & - & 0,41 & 0,28 & 0,48 \\ 0,18 & 0,10 & 0,42 & 0,24 & 0,23 & 0,20 & 0,18 & 0,02 & 0,31 & - & 0,28 & 0,20 \\ 0,31 & 0,28 & 0,29 & 0,41 & 0,42 & 0,38 & 0,08 & 0,20 & 0,50 & 0,36 & - & 0,34 \\ 0,03 & 0,13 & 0,39 & 0,20 & 0,24 & 0,15 & 0,04 & 0,09 & 0,41 & 0,44 & 0,25 & - \end{pmatrix}$$

Корак 8: Формирање матрица несагласности „L“ према изразима (27 и 28):

$$L = \begin{pmatrix} - & 0,52 & 0,03 & 0,23 & 0 & 0 & 0,17 & 0,37 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 0,16 & 0,64 & 0,15 & 0,12 & 0,26 & 0,49 & 0,28 & 0,31 & 0,21 & 0,15 \\ 0 & 0,71 & - & 0,52 & 0 & 0 & 0,53 & 0,52 & 0 & 0,12 & 0,19 & 0 \\ 0 & 0,65 & 0 & - & 0 & 0 & 0,50 & 0,42 & 0,26 & 0,18 & 0,30 & 0 \\ 0,61 & 0,53 & 0,09 & 0,47 & - & 0,15 & 0,64 & 0,49 & 0,33 & 0,06 & 0,18 & 0 \\ 0,24 & 0,40 & 0,29 & 0,31 & 0 & - & 0,48 & 0,27 & 0,19 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,41 & 0 & 0,24 & 0 & 0 & 0,36 & - & 0,04 & 0 & 0 & 0 \\ 0,49 & 0,71 & 0,20 & 0,41 & 0 & 0,26 & 0,61 & 0 & - & 0 & 0 & 0,27 \\ 0,08 & 0,70 & 0 & 0,30 & 0 & 0,15 & 0,44 & 0,76 & 0,30 & - & 0,23 & 0 \\ 0,06 & 0,36 & 0 & 0,68 & 0 & 0,16 & 0,68 & 0,76 & 0,17 & 0 & - & 0 \\ 0,53 & 0,76 & 0,26 & 0,60 & 0,12 & 0,44 & 0,54 & 0,55 & 0,49 & 0,07 & 0,43 & - \end{pmatrix}$$

Корак 9: Формирање матрице доминације „R“ према изразу (29):

$$R = \begin{pmatrix} - & 0,54 & 0,05 & 0,38 & 0 & 0 & 0,53 & 0,63 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 0,21 & 0,54 & 0,34 & 0,29 & 0,59 & 0,59 & 0,31 & 0,34 & 0,34 & 0,20 \\ 0 & 0,75 & - & 0,60 & 0 & 0 & 0,86 & 0,96 & 0 & 0,23 & 0,41 & 0 \\ 0 & 0,53 & 0 & - & 0 & 0 & 0,61 & 0,58 & 0,33 & 0,25 & 0,34 & 0 \\ 0,71 & 0,64 & 0,19 & 0,70 & - & 0,39 & 0,86 & 0,65 & 0,51 & 0,16 & 0,35 & 0 \\ 0,38 & 0,51 & 0,38 & 0,46 & 0 & - & 0,80 & 1 & 0,30 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,45 & 0 & 0,32 & 0 & 0 & 0,61 & - & 0,07 & 0 & 0 & 0 \\ 0,63 & 0,79 & 0,31 & 0,62 & 0 & 0,45 & 0,79 & 0 & - & 0 & 0 & 0,36 \\ 0,31 & 0,87 & 0 & 0,56 & 0 & 0,43 & 0,73 & 0,97 & 0,49 & - & 0,46 & 0 \\ 0,15 & 0,56 & 0 & 0,62 & 0 & 0,29 & 0,89 & 0,79 & 0,26 & 0 & - & 0 \\ 0,95 & 0,85 & 0,40 & 0,75 & 0,33 & 0,75 & 0,93 & 0,86 & 0,54 & 0,13 & 0,63 & - \end{pmatrix}$$

Корак 10. Израчунате вредности KPI-ова према изразу (30) су:

$KPI_1=0.193$; $KPI_2=0.342$; $KPI_3=0.347$; $KPI_4=0.240$; $KPI_5=0.469$; $KPI_6=0.347$; $KPI_7=0$; $KPI_8=0.132$; $KPI_9=0.360$; $KPI_{10}=0.438$; $KPI_{11}=0.324$; $KPI_{12}=0.648$.

Корак 11. Рангирање KPI-ова према (Opricović i Tzeng, 2005):

KPI _i	KPI ₁	KPI ₂	KPI ₃	KPI ₄	KPI ₅	KPI ₆	KPI ₇	KPI ₈	KPI ₉	KPI ₁₀	KPI ₁₁	KPI ₁₂
Ранг	10	7	6	9	2	5	12	11	4	3	8	1

б) Рангирање KPI-ова помоћу VIKOR методе реализује се кроз следеће кораке:

На основу алгоритма предложеног у тачки 3.7.2, радње дефинисане кроз кораке 1. и 2., реализоване су у фази 4., тако да је имплементација резултата у методу VIKOR настављена од корака 3.

Корак 3. На основу фази матрице одлучивања $\tilde{X}_{ij}$ реализована је нормализација фази матрице одлучивања на основу израза (32):

$$\tilde{Z}_{ij} = \begin{pmatrix} 0,595 & 0,217 & 0,496 & 0,217 & 0,595 & 0,398 & 0,721 & 0,515 & 0,204 \\ 0,595 & 0,459 & 0,469 & 0,267 & 0,473 & 0,506 & 0,347 & 0,303 & -0,036 \\ 0,721 & 0,721 & 0,411 & 0,469 & 0,435 & 0,506 & 0,330 & 0,684 & 0,485 \\ 0,473 & 0,239 & 0,506 & 0,506 & 0,485 & 0,469 & 0,485 & 0,289 & 0,448 \\ 0,506 & 0,321 & 0,600 & 0,551 & 0,684 & 0,359 & 0,721 & 0,557 & 0,566 \\ 0,496 & 0,600 & 0,386 & 0,551 & 0,396 & 0,268 & 0,721 & 0,459 & 0,506 \\ 0,383 & 0,303 & 0,000 & 0,642 & 0,435 & 0,448 & 0,485 & 0,485 & 0,259 \\ 0,435 & 0,459 & 0,642 & 0,343 & 0,343 & 0,410 & 0,485 & 0,215 & 0,289 \\ 0,642 & 0,496 & 0,396 & 0,595 & 0,523 & 0,292 & 0,644 & 0,469 & 0,485 \\ 0,721 & 0,515 & 0,721 & 0,383 & 0,515 & 0,428 & 0,469 & 0,398 & 0,410 \\ 0,435 & 0,557 & 0,684 & 0,557 & 0,551 & 0,428 & 0,600 & 0,228 & 0,392 \\ 0,642 & 0,469 & 0,551 & 0,469 & 0,551 & 0,642 & 0,644 & 0,600 & 0,359 \end{pmatrix}$$

Корак 4. Одређивање највеће $\tilde{z}_i^+$ и најмање $\tilde{z}_i^-$ вредности датог критеријумима реализовано је према изразима (34 и 35):

$$A^+ = (0,721 \ 0,721 \ 0,721 \ 0,642 \ 0,684 \ 0,642 \ 0,721 \ 0,684 \ 0,566).$$

$$\begin{aligned} \tilde{z}_1^+ &= (0,9001 \ 0,2003), & \tilde{z}_2^+ &= (0,9001 \ 0,2003), & \tilde{z}_3^+ &= (0,9001 \ 0,2003), & \tilde{z}_4^+ &= (0,8695 \ 0,2504), \\ \tilde{z}_5^+ &= (0,8860 \ 0,2282), & \tilde{z}_6^+ &= (0,8695 \ 0,2504), & \tilde{z}_7^+ &= (0,8860 \ 0,2282), & \tilde{z}_8^+ &= (0,8542 \ 0,3858), \\ \tilde{z}_9^+ &= (0,9001 \ 0,3858), & \tilde{z}_9^+ &= (0,9001 \ 0,2003). \end{aligned}$$

$$A^- = (0,383 \ 0,217 \ 0,000 \ 0,217 \ 0,343 \ 0,268 \ 0,330 \ 0,215 \ -0,036).$$

$$\begin{aligned} \tilde{z}_1^- &= (0,7667 \ 0,4074), & \tilde{z}_2^- &= (0,7484 \ 0,5873), & \tilde{z}_3^- &= (0,6003 \ 0,6003), & \tilde{z}_4^- &= (0,7484 \ 0,5873), \\ \tilde{z}_5^- &= (0,7553 \ 0,4447), & \tilde{z}_6^- &= (0,7427 \ 0,5212), & \tilde{z}_7^- &= (0,7471 \ 0,4435), & \tilde{z}_8^- &= (0,7268 \ 0,5526), \\ \tilde{z}_9^- &= (0,7083 \ 0,7314). \end{aligned}$$

Корак 5. Рачунање вредности S_j (песимистичко решење) реализовано је према изразу (36):

$$S_1 = 0,493; S_2 = 0,558; S_3 = 0,290; S_4 = 0,567; S_5 = 0,359; S_6 = 0,471; S_7 = 0,763; S_8 = 0,701; \\ S_9 = 0,368; S_{10} = 0,310; S_{11} = 0,472; S_{12} = 0,302.$$

На основу израза (36) добија се песимистичка вредност:

$$S^+ = (0,290) \text{ односно } S^- = (0,763).$$

Корак 6. Израчунавање вредности R_j (очекивано решење) реализовано је према изразу (37):

$$R_1 = 0,126; R_2 = 0,113; R_3 = 0,091; R_4 = 0,146; R_5 = 0,149; R_6 = 0,180; R_7 = 0,263; R_8 = 0,237; \\ R_9 = 0,081; R_{10} = 0,069; R_{11} = 0,237; R_{12} = 0,073.$$

На основу израза (37) добијена је оптимистичка вредност:

$$R^+ = (0,069) \text{ и } R^- = (0,263).$$

Корак 7. Одређивање тежине ν реализовано је према изразу (38) и износи: $\nu = 0,556$.

Корак 8. Израчунавање вредности за Q_j (компромисно решење) реализовано је према изразу (39, 40, 41), и при томе су добијене следеће вредности:

$$Q_1 = 0,370; Q_2 = 0,416; Q_3 = 0,051; Q_4 = 0,501; Q_5 = 0,266; Q_6 = 0,468; Q_7 = 1,000; Q_8 = 0,870; \\ Q_9 = 0,120; Q_{10} = 0,024; Q_{11} = 0,601; Q_{12} = 0,023.$$

Корак 9. Рангирање алтернатива реализовано је сортирањем КРІ према вредностима мера R_j, S_j и Q_j датим у Табели 4.5.

Табела 4.5 - Рангирање R_j, S_j и Q_j према вредностима КРІ

KPI_j	S_j	R_j	Q_j
KPI₁	8	6	6
KPI₂	9	5	7
KPI₃	1	4	3
KPI₄	10	7	9
KPI₅	4	8	5
KPI₆	6	9	8
KPI₇	12	12	12
KPI₈	11	10	11
KPI₉	5	3	4
KPI₁₀	3	1	2
KPI₁₁	7	10	10
KPI₁₂	2	2	1

Фаза 6. Избор осам прворанжираних КРІ-ова на основу којих су мерене перформансе процеса ремонта приказаним у Табели 4.6.

Табела 4.6 – Избор приоритетних КРІ

KPI_j	VIKOR	ELECTRE	Најбоље осам ранжираних КРІ-ова
KPI_1	6	10	x
KPI_2	7	7	x
KPI_3	3	6	x
KPI_4	9	9	
KPI_5	5	2	x
KPI_6	8	5	x
KPI_7	12	12	
KPI_8	11	11	
KPI_9	4	4	x
KPI_{10}	2	3	x
KPI_{11}	10	8	
KPI_{12}	1	1	x

На основу извршене анализе изабрани су следећи КРІ: KPI_1 , KPI_2 , KPI_3 , KPI_5 , KPI_6 , KPI_9 , KPI_{10} и KPI_{12} , помоћу којих је извршено мерење перформанси процеса ремонта.

У циљу провере сличности резултата КРІ-ова добијених помоћу две различите методе виšekритеријумског одлучивања (ELECTRE и VIKOR), компаративном анализом извршена је провера добијених резултата, чиме је установљено усаглашење предложених модела.

Према ауторима (*Salabun i Urbaniak*, 2020), када је вредност коефицијента мања $WS < 0,234$ сматра се да не постоји сличност у рангирању. У опсегу између $0,352 < WS < 0,689$ сличност у рангирању постоји, али веза није значајно јака. У случају када је вредност коефицијента већа $WS > 0,808$ сматра се да је сличност рангирања апсолутна.

На основу израза (48) извршена је провера сличности (резултати у Табели 4.7.), и том приликом добијена је вредност коефицијента $WS = 0.888$ што је веће од $WS > 0.808$, односно сличност рангирања је апсолутна, чиме је предложени модел верификован.

Табела 4.7 - Анализа сличности рангова КРІ

KPI_j	VIKOR	ELECTRE	Мера сличности
KPI_1	6	10	0.888
KPI_2	7	7	
KPI_3	3	6	
KPI_4	9	9	
KPI_5	5	2	
KPI_6	8	5	
KPI_7	12	12	
KPI_8	11	11	
KPI_9	4	4	
KPI_{10}	2	3	
KPI_{11}	10	8	
KPI_{12}	1	1	

4.2. Мерење KPI процеса ремонта

Одабиром KPI-ова на којима се врши мерење перформанси процеса ремонта техничких система, створени су услови за примену предложене SAW методе проширене FFS.

На основу дефинисаног концептуалног модела, овај сегмент припада фази 7. који се реализује кроз следеће кораке:

Корак 1. Оцењивање KPI-ова на нивоу потпроцеса PP_i од стране Тима 2 експерата реализован је помоћу анкете. Експерти су оцене дали помоћу лингвистичких израза према Табели 4.4. Резултати анкете су приказани у Прилогу 6. Моделовање лингвистичких израза је реализовано помоћу FFS дато у Прилогу 7. Сви експерти у групи су истог значаја, тако да је $\omega_e=0.2$.

Корак 2. Обједињавање је реализовано помоћу оператора FFWPG према изразу (2), а добијени резултати представљају улаз у фази матрицу одлучивања $\tilde{X}_{ij}$ према изразу (42), и дато у Прилогу 8.

Корак 3. Нормализација фази матрице одлучивања реализована је према изразу (43), и дато у Прилогу 9.

Корак 4. Формирање отежане нормализоване фази матрице реализован је према изразу (44), и дато у Прилогу 10.

Корак 5. Формирање адитивне фази матрице реализована је према изразу (45):

$$\tilde{SAW}_j = \begin{bmatrix} 0.8562 & 0.3651 \\ 0.8595 & 0.3532 \\ 0.8520 & 0.4265 \\ 0.8409 & 0.4106 \\ 0.8568 & 0.4021 \\ 0.8548 & 0.4002 \\ 0.8440 & 0.4221 \\ 0.8581 & 0.3998 \end{bmatrix}$$

Корак 6. Дефазификација вредности SAW_j по KPI_j реализован је према изразу (46), резултати су дати у Табели 4.8.

Табела 4.8 - Измерене вредности KPI применом методе SAW

KPI _j	KPI ₁	KPI ₂	KPI ₃	KPI ₅	KPI ₆	KPI ₉	KPI ₁₀	KPI ₁₂
Измерене вредности	0.5791	0.5910	0.5410	0.5253	0.5641	0.5605	0.5261	0.5679

4.3. Унапређење KPI процеса ремонта помоћу генетског алгоритма

На основу измерених вредности KPI-ова процеса ремонта, у овој фази реализовано је унапређење вредности истих односно проналажење оптималног решења помоћу GA.

Према стандардима организације минималне вредности KPI треба да буду 0.5, да би се констатовало да процес ремонта функционише са оценом „задовољавајуће“.

У моделу је предложено да се одреди индекс ефикасности као минимална циљна вредност сваког KPI, узимајући у обзир да вредност не може бити нижа од вредности дефинисане стандардом.

Референтне вредности односно индекс ефикасности које треба да достигне сваки KPI, одређен је помоћу Делфи методе проширене FFS. У одређивању индекса ефикасности сваког KPI учествовало је 10 експерата, који су анализирајући сваки KPI дошли до закључка о њиховим референтним вредностима.

Такође као и код одређивања релативних важности, и у овом кораку индекс ефикасности је добијен усаглашавањем експерата, односно постизањем консензуса (консензус је постигнут ако је $\delta \leq 0.25$).

Експерти су дали оцене (Табела 4.9) помоћу лингвистичких израза који су дефинисани у Табели 4.1. Моделовање је реализовано са FFS.

Табела 4.9 - Одређивање индекса ефикасности KPI од стране експерата

e_i	KPI ₁	KPI ₂	KPI ₃	KPI ₅	KPI ₆	KPI ₉	KPI ₁₀	KPI ₁₂
E ₁	VI	AI	VI	AI	AI	AI	AI	VI
E ₂	AI	MI	I	VI	AI	AI	I	AI
E ₃	VI	AI	VI	VI	VI	I	MI	VI
E ₄	AI	AI	VI	AI	MI	AI	I	VI
E ₅	VI	I	AI	AI	MI	VI	VI	AI
E ₆	I	AI	VI	VI	VI	AI	VI	AI
E ₇	VI	A	AI	AI	VI	AI	VI	VI
E ₈	MI	I	VI	VI	VI	VI	AI	I
E ₉	VI	AI	AI	AI	MI	AI	AI	VI
E ₁₀	I	VI	AI	AI	VI	VI	I	I

Обједињавање мишљења експерата је реализована са FFWPA оператором обједињавања на основу израза (1).

На основу израза (9) одређене су варијансе које су имале вредност од $\sigma=0.11$ до $\sigma=0.25$ што је испод дефинисаног прага, чиме је постигнут консензус, односно експерти су се усагласили да индекс ефикасности KPI буду вредности приказане у Табели 4.10.

Табела 4.10 - Вредности индекса ефикасности KPI

KPI _j	KPI ₁	KPI ₂	KPI ₃	KPI ₅	KPI ₆	KPI ₉	KPI ₁₀	KPI ₁₂
Индекс ефикасности	0.513	0.590	0.657	0.770	0.506	0.770	0.528	0.586

Проналажење оптималног решења за унапређење измерених вредности КРІ-ова односно постизање референтних вредности, реализовано је применом ГА.

На основу дефинисаног концептуалног модела, овај сегмент припада фази 8., која је реализована помоћу програмског пакета MATLAB (верзија: R2013a). Дефинисањем функције циља оптимизују се унапређења КРІ-ова. Улазни параметри у ГА су:

- измерене вредности КРІ-ова: $KPI=[0.5791, 0.5910, 0.5410, 0.5253, 0.5641, 0.5605, 0.5261, 0.5679]$;
- тежине КРІ-ова: $\omega_1=0.5$; $\omega_2=0.5$; $\omega_3=0.5$; $\omega_5=0.5$; $\omega_6=0.5$; $\omega_9=0.5$; $\omega_{10}=0.5$; $\omega_{12}=0.5$;
- доња граница унапређења КРІ-ова: $LB=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$;
- горња граница унапређења представља референтну вредност односно индекс ефикасности КРІ и износи: $UB=[0.513, 0.590, 0.657, 0.770, 0.506, 0.770, 0.528, 0.586]$;

Оптимизацијом решења у циљу унапређења КРІ-ова применом генетског алгорита на реализованих 30 итерација постигнути резултати су приказани у Табели 4.11. У прилогу 11 дати су графички прикази праћења еволуције ГА за све итерације.

Табела 4.11 - Оптимална решења ГА

КРІ _j	КРІ ₁	КРІ ₂	КРІ ₃	КРІ ₅	КРІ ₆	КРІ ₉	КРІ ₁₀	КРІ ₁₂
Унапређење 1. итерација	0,5832	0,5923	0,5488	0,5524	0,5785	0,5605	0,5311	0,6063
Унапређење 2. итерација	0,608	0,5996	0,5449	0,5368	0,5756	0,5718	0,5261	0,5679
Унапређење 3. итерација	0,5791	0,591	0,5417	0,5508	0,5651	0,5605	0,5445	0,6604
Унапређење 4. итерација	0,5959	0,6285	0,5693	0,5826	0,5753	0,5682	0,5698	0,6263
Унапређење 5. итерација	0,5792	0,6037	0,5414	0,529	0,5767	0,5795	0,5318	0,5831
Унапређење 6. итерација	0,5971	0,633	0,5412	0,7824	0,5773	0,8105	0,5476	0,6102
Унапређење 7. итерација	0,6187	0,6062	0,5493	0,5287	0,5983	0,6764	0,5264	0,5756
Унапређење 8. итерација	0,583	0,6204	0,5478	0,551	0,6019	0,5687	0,5266	0,582
Унапређење 9. итерација	0,5881	0,6599	0,5661	0,5283	0,6301	0,5612	0,5689	0,6251
Унапређење 10. итерација	0,5791	0,591	0,541	0,6	0,5641	0,5605	0,5261	0,5679
Унапређење 11. итерација	0,6107	0,601	0,5704	0,5331	0,5922	0,5682	0,5282	0,5808

Унапређење 12. итерација	0,5791	0,6082	0,6913	0,7509	0,5641	0,5605	0,5261	0,5679
Унапређење 13. итерација	0,6057	0,6231	0,5481	0,5253	0,5655	0,6727	0,5261	0,5725
Унапређење 14. итерација	0,5791	0,591	0,541	0,8353	0,5756	0,5605	0,5261	0,743
Унапређење 15. итерација	0,5916	0,6048	0,5496	0,5265	0,5661	0,5872	0,6312	0,6532
Унапређење 16. итерација	0,5939	0,591	0,5716	0,5389	0,5815	0,5605	0,5275	0,5718
Унапређење 17. итерација	0,593	0,6785	0,5661	0,532	0,5645	0,584	0,798	0,6061
Унапређење 18. итерација	0,6398	0,6737	0,5458	0,5451	0,594	0,6132	0,5482	0,5811
Унапређење 19. итерација	0,5848	0,6003	0,5819	0,5425	0,5956	0,5804	0,545	0,609
Унапређење 20. итерација	0,5791	0,6556	0,5603	0,5253	0,5641	0,5605	0,5261	0,5679
Унапређење 21. итерација	0,5805	0,6105	0,5449	0,5548	0,5687	0,5673	0,5531	0,5709
Унапређење 22. итерација	0,5804	0,599	0,6313	0,5302	0,5732	0,5605	0,5263	0,664
Унапређење 23. итерација	0,5875	0,591	0,541	0,5253	0,5693	0,5764	0,5432	0,5991
Унапређење 24. итерација	0,5791	0,6661	0,5451	0,5367	0,5716	0,6086	0,5263	0,5701
Унапређење 25. итерација	0,5797	0,5922	0,5449	0,5257	0,6185	0,5643	0,5511	0,5703
Унапређење 26. итерација	0,5922	0,6039	0,5426	0,5324	0,5712	0,5711	0,5315	0,5812
Унапређење 27. итерација	0,5826	0,5964	0,5469	0,5315	0,5796	0,5627	0,5389	0,5733
Унапређење 28. итерација	0,6091	0,5989	0,5412	0,5261	0,5718	0,5667	0,5479	0,6146
Унапређење 29. итерација	0,6368	0,8867	0,5483	0,5253	0,57	0,5605	0,5261	0,8575
Унапређење 30. итерација	0,6376	0,6368	0,5542	0,5253	0,5931	0,5672	0,541	0,5934

Проналажењем најоптималнијег решења за унапређење вредности КРІ-ова, завршено је тестирање модела, након чега су анализирани добијени резултати, верификација развијеног модела и оправданост истраживања.

5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

У овом поглављу извршена је анализа добијених резултата модела, као и анализа осетљивости модела на промене приступа одређивања дистанци FFS, анализа осетљивости модела на промену начина моделовања неизвесности, и анализа осетљивости модела на промене коефицијента групног обележја код методе VIKOR.

5.1. Анализа резултата рангирања и мерења KPI

Рангирање KPI-ова помоћу методе ELECTRE и VIKOR има за циљ да на основу оцена експерата представи који KPI највише имају утицаја на процес, односно помоћу којих KPI-ова је најбоље мерити перформансе процеса ремонта.

Од стране експерата дефинисано је да се осам прво ранжираних KPI-ова сматра вишим приоритетом, односно KPI-ови који имају највећи утицај на технолошки процес ремонта. Остали ранжирани KPI-ови (од деветог до дванаестог места) сматрају се мање важним јер директно не утичу на процес ремонта, али се не искључују из разматрања и као такви представљају неопходан предуслов за почетак, реализацију и завршетак технолошког процеса ремонта.

У моделу је коришћена Делфи метода проширена FFS помоћу које је постигнут компромис у одређивању релативних важности потпроцеса.

Резултати Делфи методе су показали да највећа важност додељена потпроцесу PP₁ – „претходна дефектација“ која се спроводи на средству у циљу проналаска отказа као и индентификацији узрока отказа. У пракси се овај потпроцес показао битним, имајући у виду да каналише даљи ток кретања средства кроз ремонт. Од квалитета урађене дефектације зависиће ангажовање ресурса као што су: стручна лица по специјалностима, време набавке резервних делова, време демонтаже неисправних односно монтаже исправних склопова. За менаџмент време је веома битан фактор из два разлога, први је да се средство што пре врати кориснику на употребу, а други је да се капацитети ослободе и припреме за рад на следећим средствима. Време које средство проводе у процесу ван нормативно прописаног времена за одређену врсту поправке, представља губитке за организацију. Остале релативне важности потпроцеса углавном одговарају реалној ситуацији и у пракси.

а) Рангирање KPI-ова добијених применом методе ELECTRE

Помоћу методе ELECTRE генерисано је прво ранжираних осам прворанжираних KPI-ова: расположивост радионичких капацитета (KPI₁₂), расположивост општих и специјалних алата и опреме (KPI₅), расположивост стручних лица (KPI₁₀), степен усаглашености процедура (KPI₉), материјално обезбеђење резервним деловима и потрошним материјалом (KPI₃), ниво потребног знања и вештина (KPI₆), задовољство корисника (KPI₂) и расположивост техничке литературе (KPI₁₁).

Слабије ранжирани KPI-ови који представљају предуслов за процес ремонта су: степен примене мера заштите на раду (KPI₄), могућност праћења савремених трендова (KPI₈), расположивост заштитне опреме у процесу ремонта (KPI₁) и степен координације са осталим организационим целинама у ремонтној организацији (KPI₇). Експерти су својим оценама показали да без горе наведених перформанси технолошки процес ремонта не може да се реализује, јер су обавезан предуслов за почетак технолошког процеса ремонта.

Такође на основу резултата може се закључити да за експерте слабије рангирани KPI-ови не представљају приоритет за процес ремонта. Тиме се сматра да је обезбеђена заштитна опрема до прописаних количина, прописане су све мере заштите на раду како не би дошло до повређивања лица, координација са осталим организационим целинама по питању финансија и набавки захтеваних средстава, као и да инфраструктурна подршка радионичких капацитета функционише без застоја. Индикатор могућност праћења савремених трендова ремонта у многоме зависи од доступности документације за нова средства, могућности учешћа на семинарима. Обезбеђење наведених услова за праћење савремених трендова ремонта је у надлежности организационих целина ван технолошког процеса, тако да је KPI₈ сврстан у мање значајне KPI-ове.

Расположивост радионичких капацитета (KPI₁₂) има највећи утицај на процес ремонта, и као такав може представљати уско грло у процесу ремонта. Наведени индикатор зависи од инфраструктурне подршке, испоштованости линије технолошког процеса ремонта, а највише зависи од расподеле капацитета сходно захтевима корисника средстава. Проблем настаје када захтеви за ремонтом превазилазе радионичке капацитете и долази до појаве тзв. уског грла.

Расположивост општих и специјалних алата и опреме (KPI₅) индикатор који презентује доступност алата и опреме у процесу ремонта, његове исправности и атеста. Недостаци се манифестују у појави неисправности алата, задржаности алата и опреме у процесу тестирања, као и недоступности одређених алата на тржишту.

Расположивост стручних лица (KPI₁₀) је индикатор који представља попуњеност стручним лицима. Недостатак стручних лица је присутна у већини компанија, због разних кретања (планирани и природни одливи, миграције, одлазак на боље позиције, преквалификације на друга радна места и сл.), немогућности замене у случају одсутности лица као и могућности уласка млађих и мање искусних лица у технолошком процесу.

Степен усаглашености процедура (KPI₉) представља усклађеност процедура технолошког процеса ремонта са стандардима, правилима, прописима и нормативним уређењима. Проблеми који утичу на овај индикатор јесу ажурност процедура и доступност правила и прописа за средства која долазе на ремонт.

Материјално обезбеђење резервним деловима и потрошним материјалом (KPI₃) представља базу процеса ремонта. Проблеми који утичу на индикатор су највише везани за област набавке резервних делова и потрошног материјала, односно од поузданости набављених резервних делова. Глобални проблеми на светском тржишту могу утицати на производњу резервних делова, што за последицу има кашњење испоруке резервних делова, испоруку мање количине у односу на захтевану, као и поузданост испоручених резервних делова која је упитна због честих отказа на након ремонта.

Ниво потребног знања и вештина (KPI₆) захтева познавање средстава, дефектације отказа, демонтаже склопова и монтаже. Оно што може умањити вредност овог индикатора јесте обученост за ремонт новијих средстава.

Расположивост техничке литературе (KPI₁₁) је важан алат за стручна лица. Разноврсност средстава ставља стручна лица у неповољну ситуацију када недостаје

техничка литература у којој су описани технолошки поступци ремонта средства, шеме и слике склопова и под склопова, фабрички бројеви резервних делова и слично.

Задовољство корисника услугом ремонта (KPI_2) представља оцену рада целине која се бави ремонтом, указујући на пропусте у раду на самом средству који се манифестују у току експлоатације.

б) Рангирање KPI-ова добијених применом методе VIKOR

Помоћу методе VIKOR изабрано је прво ранжираних осам KPI-ова: расположивост радионичких капацитета (KPI_{12}), расположивост општих и специјалних алата и опреме (KPI_5), расположивост стручних лица (KPI_{10}), степен усаглашености процедура (KPI_9), материјално обезбеђење резервним деловима и потрошним материјалом (KPI_3), ниво потребног знања и вештина (KPI_6), задовољство корисника (KPI_2) и расположивост заштитне опреме у процесу ремонта (KPI_1).

Слабије ранжирани KPI-ови који представљају предуслов за процес ремонта су: степен примене мера заштите на раду (KPI_4), могућност праћења савремених трендова (KPI_8), расположивост техничке литературе (KPI_{11}) и степен координације са осталим организационим целинама у ремонтној организацији (KPI_7).

в) Компаративна анализа резултата KPI добијених применом метода VIKOR и ELECTRE

За одређивање KPI на којима се мере перформансе процеса ремонта, узета су два модела вишекритеријумске оптимизације VIKOR и ELECTRE, са циљем да добијени резултати односно ранг KPI-ова буде верификован са обе методе.

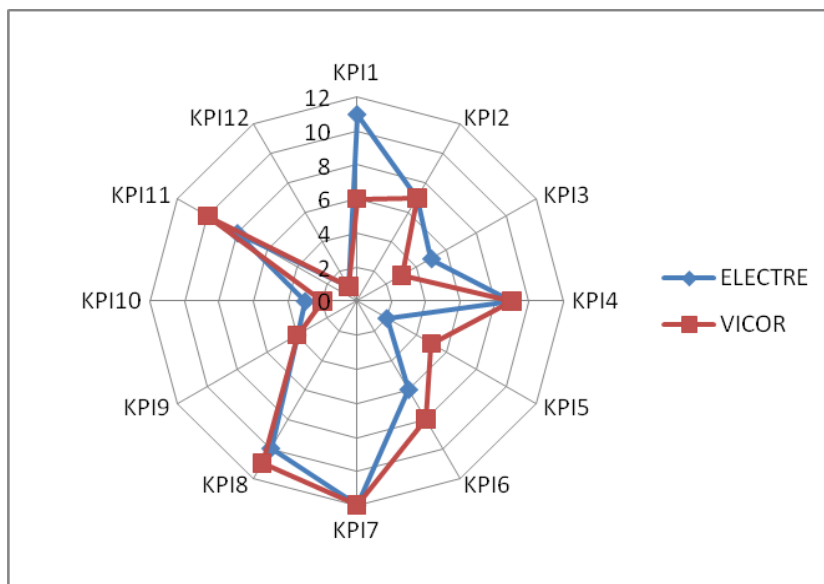
Две методе су користиле исте улазне резултате, односно оцена KPI-ова на нивоу сваког потпроцеса PP_i моделоване помоћу FFS, са истим релативним важностима потпроцеса ω_{pp_i} добијених помоћу Делфи методе проширене са FFS.

Резултати добијеним применом две поменуте методе дате су у Табели 5.1, и графички приказани Слици 5.1.

Табела 5.1 - Поређење резултата KPI добијених методама VIKOR и ELECTRE

KPI_j	ELECTRE	VIKOR
KPI_1	11	6
KPI_2	7	7
KPI_3	5	3
KPI_4	9	9
KPI_5	2	5
KPI_6	6	8
KPI_7	12	12
KPI_8	10	11
KPI_9	4	4
KPI_{10}	3	2
KPI_{11}	8	10
KPI_{12}	1	1

Поређењем резултата може се видети да су обе методе најбоље рангирале KPI₁₂ а најлошије рангирале KPI₇. Иако се ради о две различите методе вишекритеријумског одлучивања, од којих је једна метода заснована на принципу компромиса (VIKOR) а друга метода на принципу конфликта (ELECTRE), резултати су потврдили да методе дају исте резултате за већину KPI-ова као шта су: KPI₂, KPI₄, KPI₇, KPI₉, KPI₁₂, приближно исте резултате за KPI-ове: KPI₃, KPI₆, KPI₈, KPI₁₀ и KPI₁₁, док су највеће разлике видљиве код KPI₁ и KPI₅.



Слика 5.1 - Графички приказ KPI вредности добијених методама VIKOR и ELECTRE

У погледу рангираности, обе методе су у првих седам KPI-ова сврстале KPI₂, KPI₃, KPI₅, KPI₆, KPI₉, KPI₁₀ и KPI₁₂. Имајући у виду да је дефинисано да се на осам KPI-ова мере перформансе процеса ремонта, за осми KPI је узет KPI₁ из разлога што је по једној од метода био рангиран најбоље од осталих последње ранжираних KPI-ова.

5.2. Анализа осетљивости модела на промене тежине критеријума максимализованог групног обележја код методе VIKOR

Испитивање осетљивости VIKOR модела реализовано је кроз анализу вредности компромисног решења Q_j када се мења вредност v - тежине критеријума максимализованог групног обележја. Улазни подаци у модел VIKOR, као што су тежине потпроцеса и оцене KPI-ова на нивоу сваког потпроцеса PP_i се не мењају. Тежина критеријума максимализованог групног обележја узимале су вредности од 0 до 1. За референтну вредност v - тежина критеријума максимализованог групног обележја узето је $v=0.556$.

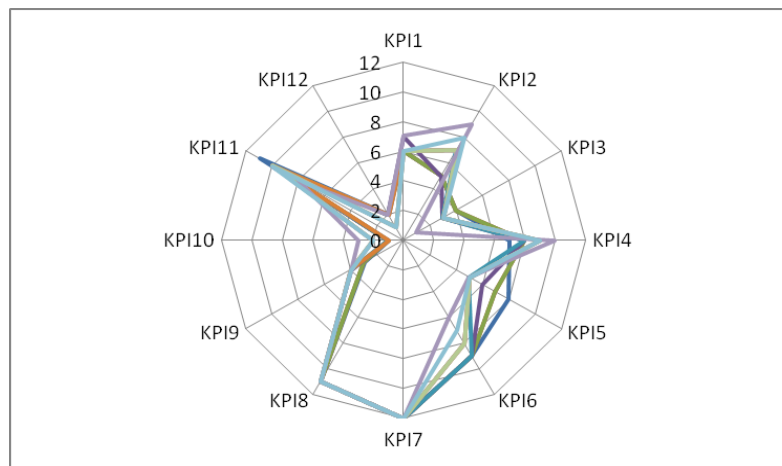
Тестирањем модела добијени резултати су приказани у Табели 5.2. Приказани резултати представљају ранг KPI-ова на основу вредности Q_j , када v узима вредност од 0 до 1. Ради лакшег увида у постигнуте резултате дат је графички приказ резултата на слици 5.2.

Табела 5.2 - Ранг КРІ на основу вредности Q_j , када v узима вредност од 0 до 1

KPI_j	$v=0$	$v=0,1$	$v=0,2$	$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,5$	$v=0,556$	$v=0,6$	$v=0,7$	$v=0,8$	$v=0,9$	$v=1$
KPI ₁	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6
KPI ₂	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	8
KPI ₃	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
KPI ₄	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9
KPI ₅	8	7	7	6	5	5	5	5	5	5	5	5
KPI ₆	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	7
KPI ₇	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
KPI ₈	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
KPI ₉	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
KPI ₁₀	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
KPI ₁₁	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KPI ₁₂	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1

На основу добијених резултата се види да за вредности v од 0 до 0.5 већи број КРІ има исти ранг. За вредности v од 0,6 до 1 долази до промене ранга код половине КРІ-ова, али КРІ остају у групи приоритетних или мање приоритетних за процес ремонта. Такође резултати показују да је вредност $v = 0.556$, која је добијена на основу израза (38), вредност када долази до промене ранга, тј. долази до постизања компромисног решења.

Може се рећи да су резултати показали да код промене тежине критеријума максимализованог групног обележја (v), не долази до већих промена ранга КРІ-ова, што је потврда да је модел стабилан и мање осетљив на промене тежине критеријума максимализованог групног обележја, и да се за вредност тежине критеријума максимализованог групног обележја може узети вредност $v = 0.556$.

**Слика 5.2** - Ранг КРІ за различите вредности „ v “

5.3. Анализа осетљивости модела на промену начина моделовања неизвесности код методе ELECTRE

У овој тачки извршено је тестирање методе ELECTRE када се моделовање улазних резултата као што је оцена KPI-ова на нивоу сваког PP_i , моделује на другачији начин. Тежине потпроцеса PP_i добијене Делфи методом остају исте као и у основном моделу.

Моделовање неизвесности у моделу је представљено интуитивним фази бројевима q -тог реда (где је $q=3$), односно FFS.

Да би се проверило да ли и колико утиче моделовање неизвесности променом q -тог реда интуитивног фази броја на исход резултата предложеног модела, на истим улазним подацима извршено је тестирање модела када q узима вредности $q=4,5,6,7,8,9,10$.

Алгебру за моделовање неизвесности интуитивним фази бројем q -тог реда објаснили су аутори Pinar i Boran (2020).

Обједињавање је реализована помоћу FFWPG, на основу израза (8). Резултати добијени тестирањем модела ELECTRE проширене са q -тим редом интуитивног фази броја, представљени су рангирањем KPI-ова и приказани у Табели 5.3. Ради лакшег увида у добијене резултате, исти су графички приказани на Слици 5.3.

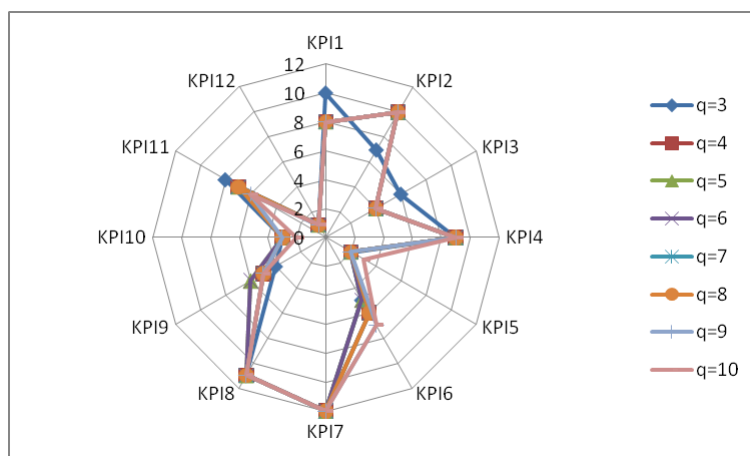
Табела 5.3 - Ранг KPI применом q -ранг интуитивног фази броја

KPI_j	$q=3$	$q=4$	$q=5$	$q=6$	$q=7$	$q=8$	$q=9$	$q=10$
KPI_1	10	8	8	8	8	8	8	8
KPI_2	7	10	10	10	10	10	10	10
KPI_3	6	4	4	4	4	4	4	4
KPI_4	9	9	9	9	9	9	9	9
KPI_5	2	2	2	2	2	2	2	3
KPI_6	5	6	5	5	6	6	7	7
KPI_7	12	12	12	12	12	12	12	12
KPI_8	11	11	11	11	11	11	11	11
KPI_9	4	5	6	6	5	5	5	5
KPI_{10}	3	3	3	3	3	3	3	2
KPI_{11}	8	7	7	7	7	7	6	6
KPI_{12}	1	1	1	1	1	1	1	1

У поређењу резултата који су добијени применом FFS ($q=3$) са резултатима када q узима вредности од 4 до 10, се види да је модел показао исти или приближан ранг за KPI_4 , KPI_5 , KPI_7 , KPI_8 , KPI_{10} и KPI_{12} односно мање промене ранга за KPI_1 , KPI_2 , KPI_3 , KPI_6 , KPI_9 , и KPI_{11} .

У поређењу добијених резултата за $q>3$, са резултатима из пословне организације, доносиоцима одлука важност KPI_4 , KPI_5 , KPI_7 , KPI_8 , KPI_{10} и KPI_{12} је у складу са добијеним ранговима, док важност KPI_2 , KPI_6 , KPI_9 је већа а мања за KPI_1 , KPI_3 и KPI_{11} у односу на добијене резултате. Важност KPI-ова када је $q=3$, за менаџмент организације највише је одговара реалној ситуацији, што значи да би за друге ситуације било другачије.

Посматрајући Сliku 5.3, може се закључити да је модел мање осетљив на промене вредности q , јер су КРI-ови углавном задржали рангове и остали у групама приоритетних или мање приоритетних КРI-ова.



Слика 5.3 - Приказ ранга КРI-ова за вредности $q=3,4,5,6,7,8,9,10$

Моделовање неизвесности помоћу FFS ($q=3$) за овај модел више одговара него примена моделовања фази бројем вишег реда када q узима вредности $q>3$, што не значи да би на другим примерима били постигнути другачији резултати.

5.4. Анализа осетљивости модела на промену начина одређивања дистанци са комперативном анализом

У овој тачки реализовано је тестирање модела за рангирање КРI-ова (ELECTRE и VIKOR), када се дистанца одређује на различите начине као што је: Хемингова дистанца, триангуларна и *Cosin* дистанца.

Циљ тестирања је да се применом различитих алгебри за одређивање дистанци анализира понашање модела, и добијени резултати упореде са основним моделом, где је дистанца одређена применом Еуклидовога растојања.

Улазни подаци за модел као што су оцене КРI-ова на нивоу сваког потпроцеса PP_i , тежине потпроцеса PP_i и моделовање неизвесности са FFS се не мењају.

Тестирањем модела добијени резултати су представљени у виду рангова КРI-ова.

У Табелама 9. и 10. су приказани добијени рангови КРI-ова када се рангирање реализује ELECTRE методом односно када се рангирање реализује VIKOR методом.

а) рангирање КРI-ова методом ELECTRE (Табели 5.4), када је начин одређивања растојања између FFS: Хемингова дистанца према изразу (4), триангуларна према изразу (5), и *Cosin* дистанца према изразу (7).

Табела 5.4 - Рангирање KPI методом ELECTRE када се мења начин одређивања дистанци FFS

KPI _j	D _{hemingova}	D _{euclidska}	D _{triangular}	D _{cosin}
KPI ₁	10	10	9	9
KPI ₂	7	7	8	8
KPI ₃	5	6	2	2
KPI ₄	9	9	10	10
KPI ₅	2	2	5	5
KPI ₆	6	5	7	7
KPI ₇	12	12	12	12
KPI ₈	11	11	11	11
KPI ₉	4	4	4	4
KPI ₁₀	3	3	3	3
KPI ₁₁	8	8	6	6
KPI ₁₂	1	1	1	1

На основу добијених резултата рангова KPI, види се да су KPI остали у групи приоритетних и мање приоритетних за процес ремонта, што показује да је модел мање осетљив на промене начина одређивања дистанци.

б) рангирање KPI-ова методом VIKOR (Табела 5.5) када је начин одређивања растојања између FFS: Хемингова дистанца према изразу (4), триангуларна према изразу (5) и *Cosin* дистанца према изразу (7).

Табела 5.5 - Рангирање KPI методом VIKOR када се мења начин одређивања дистанци FFS

KPI _j	D _{hemingova}	D _{euclidska}	D _{triangular}	D _{cosin}
KPI ₁	6	6	5	6
KPI ₂	7	7	7	7
KPI ₃	2	3	2	1
KPI ₄	9	9	11	9
KPI ₅	5	5	6	5
KPI ₆	8	8	8	8
KPI ₇	12	12	12	12
KPI ₈	11	11	10	11
KPI ₉	4	4	4	4
KPI ₁₀	3	2	3	2
KPI ₁₁	10	10	9	10
KPI ₁₂	1	1	1	3

На основу добијених резултата рангова KPI, види се да су KPI-ови остали у групи приоритетних и мање приоритетних за процес ремонта, што показује да је модел мање осетљив на промене начина одређивања дистанци.

в) компаративна анализа резултата ранжираних KPI-ова методама VIKOR и ELECTRE, помоћу методе сличности, када се мења начин одређивања дистанци. На основу израза (48) извршена је провера сличности ранга KPI-ова, и том приликом добијени резултати су приказани у Табели 5.6.

Табела 5.6 - Сличност рангирања KPI са променом начина одређивања дистанци FFS

KPI _j	WS _{hemingova}	WS _{euclidska}	WS _{triangular}	WS _{cosin}
KPI ₁	0.002	0.000	0.001	0.001
KPI ₂	0.000	0.000	0.001	0.001
KPI ₃	0.013	0.008	0.000	0.025
KPI ₄	0.000	0.000	0.000	0.000
KPI ₅	0.075	0.075	0.004	0.000
KPI ₆	0.005	0.013	0.001	0.001
KPI ₇	0.000	0.000	0.000	0.000
KPI ₈	0.000	0.000	0.000	0.000
KPI ₉	0.000	0.000	0.000	0.000
KPI ₁₀	0.000	0.014	0.000	0.014
KPI ₁₁	0.001	0.001	0.008	0.010
KPI ₁₂	0.000	0.000	0.000	0.091
WS	0.905	0.888	0.985	0.857

Променом начина одређивања дистанци, а на основу добијених резултата, може се видети да су оба модела (ELECTRE и VIKOR) дала апсолутну сличност рангирања KPI-ова, јер је вредност коефицијента сличности WS, према ауторима (*Salabun i Urbaniak*, 2020), већа $WS > 0,808$ за све начине одређивања дистанци.

5.5. Анализа добијених перформанси помоћу SAW методе и њихово унапређење помоћу генетског алгоритма

Перформансе ремонтног процеса су измерене применом методе SAW (Табела 4.8). Вредност свих KPI-ова се креће од 0,5253 до 0,5910. Највећу вредност има KPI₂=0,5910 односно „задовољство корисника услугом ремонта“, док најмању вредност има KPI₅=0,5910 односно расположивост општих и специјалних алата и опреме. Што значи да су корисници средстава задовољни квалитетом извршених радова на техничком средству, без обзира што је оцена „расположивост општих и специјалних алата“ смањена, из чега произилази закључак да се стручност инжењера и механичара не доводи у питање, шта више процес ремонта се реализује по плану и по дефинисаним стандардима.

Проблеми који се генеришу из измерених KPI-ова представљају уско грло за процес ремонта. С тога је потребно обратити пажњу на капацитете где се реализује ремонт у погледу опремљености савременим уређајима за мерења и испитивања, алатом за

демонтажу и монтажу, условима за боравак стручних лица, заступљености опреме за заштиту на раду као и осталим помоћним средствима која су неопходна за процес ремонта.

Остале вредности KPI-ова су послужиле менаџменту да идентификује узроке који утичу на поједине KPI-ове и предузму радње и поступке из технолошког домена на њиховом унапређењу.

У погледу достизања циљних вредности перформанси потребно је урадити побољшање у неким сегментима. Мерењем перформанси процеса дошло се до резултата који су показали на које KPI-ове треба обратити посебну пажњу, као и индентификација скривених проблема у процесу ремонта.

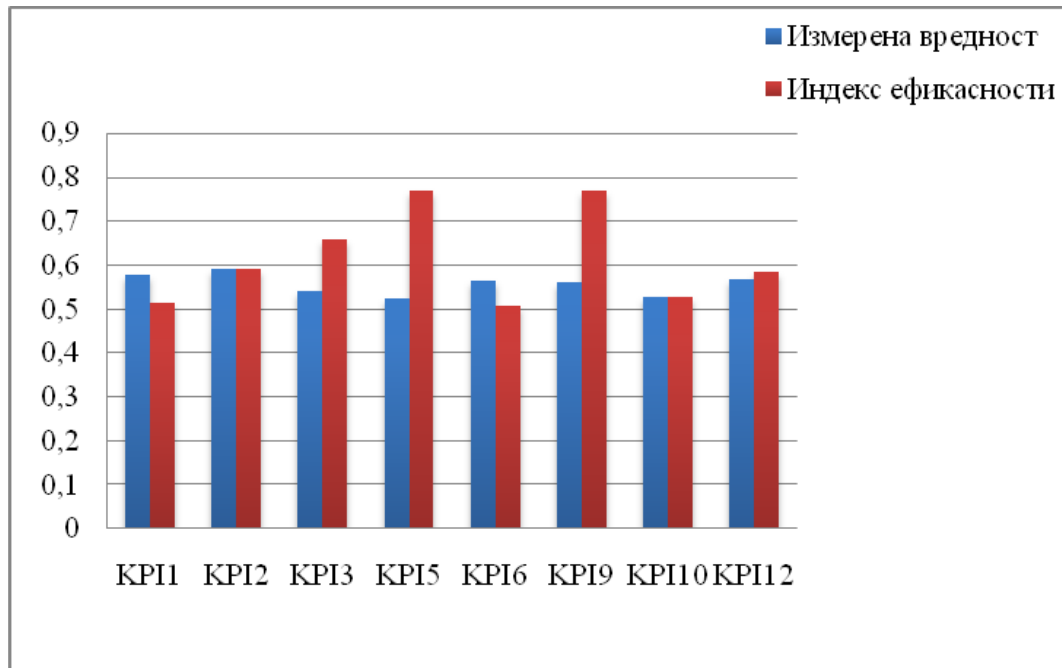
Проналажење најоптималнијег решења за унапређење KPI-ова реализовано је применом GA. Одређена су ограничења која су неопходна код програмирања GA, која представљају индекс ефикасности сваког KPI, односно минималне циљне вредности које треба да достигне сваки KPI.

Одређивање индекса ефикасности реализовано је применом Делфи методе и учешћем експерата. Оцене су моделоване FFS. Добијени резултати приказани су у Табели 4.10.

Упоредном анализом измерених и референтних вредности KPI-ова (Табела 5.7) као и графичка анализа на слици 5.4, може се видети да су KPI₁, KPI₂, KPI₆ и KPI₁₀ достигли референтне вредности које су поставили експерти, док је KPI₁₂ близу постизања референтне вредности. Вредности KPI₃, KPI₅, KPI₉ су најудаљенији од референтне вредности, што указује да се на тим KPI-овима морају пронаћи узроци који умањују њихове вредности.

Табела 5.7 - Вредности измерених и индекса ефикасности KPI

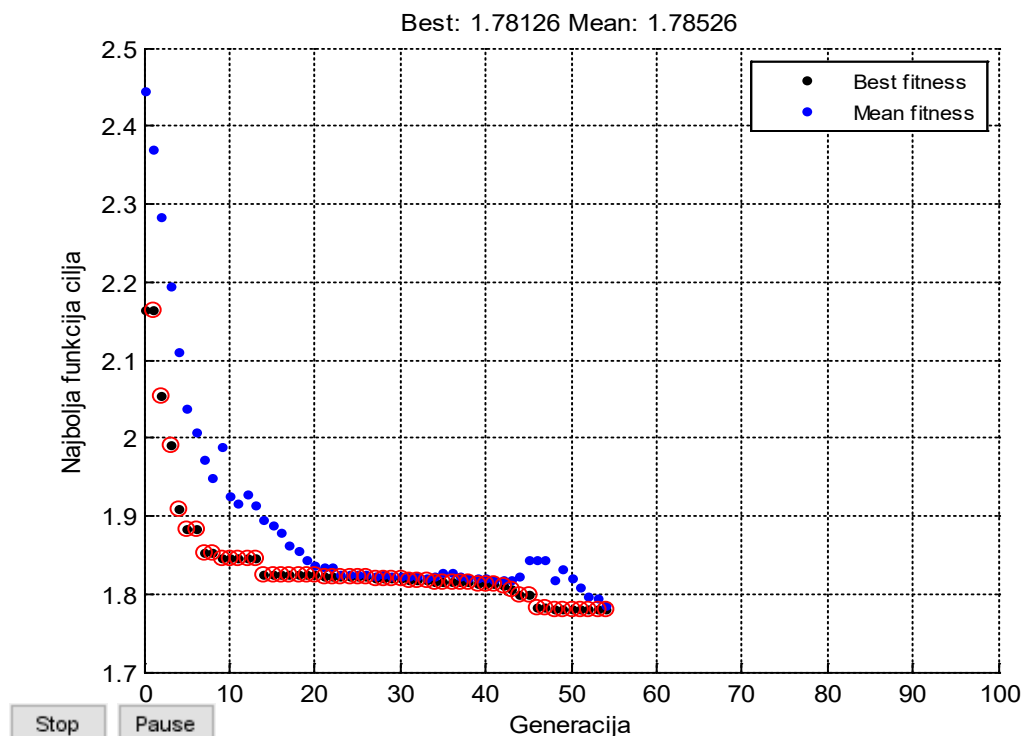
KPI _j	KPI ₁	KPI ₂	KPI ₃	KPI ₅	KPI ₆	KPI ₉	KPI ₁₀	KPI ₁₂
Измерене вредности	0.5791	0.5910	0.5410	0.5253	0.5641	0.5605	0.5261	0.5679
Индекс ефикасности	0.513	0.590	0.657	0.770	0.506	0.770	0.528	0.586



Слика 5.4 - Графичка анализа измерених и референтних вредности KPI

Претраживање најбоље функције циља реализовано је кроз 30. итерација. Од понуђених 30 решења, анализом добијених резултата донета је одлука да се најбоље унапређење реализује са резултатима постигнутим у 6. итерацији (Табела 5.8).

На слици 5.5 је приказан алгоритам генерисања најоптималнији решења где је најбоља функција циља пронађена у вредности $f=1.78126$.

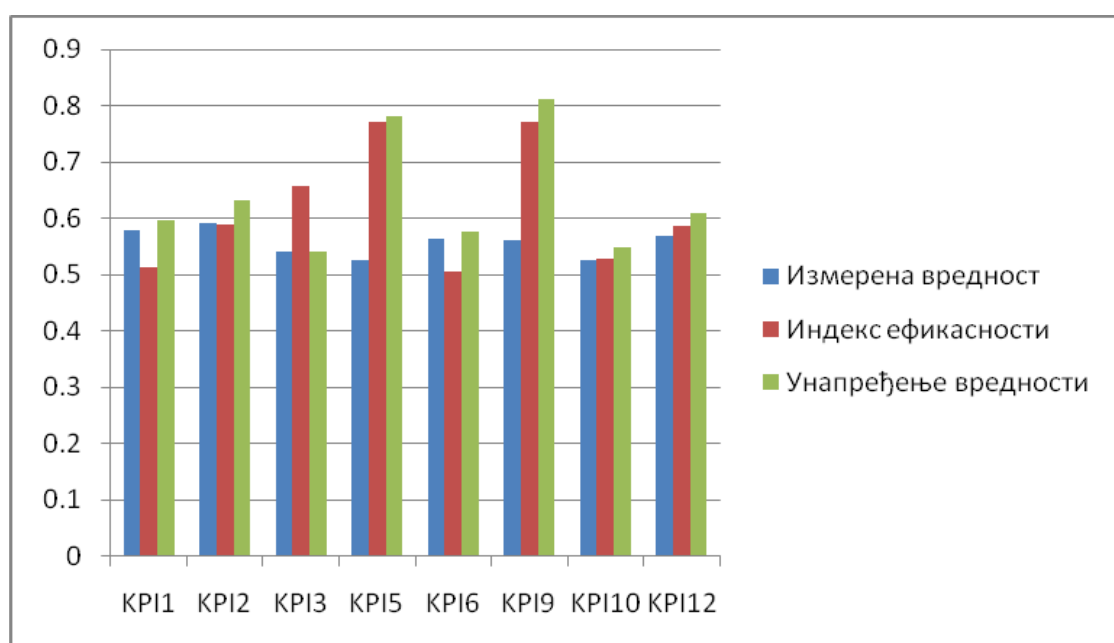


Слика 5.5 - Праћење еволуције GA у 6. итерацији

Табела 5.8 - Вредности оптималног решења, измерених и индекса ефикасности KPI

KPI _j	KPI ₁	KPI ₂	KPI ₃	KPI ₅	KPI ₆	KPI ₉	KPI ₁₀	KPI ₁₂
Измерена Вредност	0.5791	0.5910	0.5410	0.5253	0.5641	0.5605	0.5261	0.5679
Индекс ефикасности	0.513	0.590	0.657	0.770	0.506	0.770	0.528	0.586
Оптимална вредност	0,5971	0,633	0,5412	0,7824	0,5773	0,8105	0,5476	0,6102

На слици 5.6 је дат графички приказ поређења измерених, унапређених вредности KPI као и индекс ефикасности KPI. Може се видети да је примена GA дало унапређење ефикасности KPI-ова.



Слика 5.6 - Графичка анализа измерених, референтних и унапређених вредности KPI

У циљу унапређења индикатора, анализирани су добијени резултати, сагледани су потенцијални проблеми који утичу на поједине KPI-ове, и менаџменту организације дат је предлог мера за унапређење истих.

Експерти су највећу важност доделили потпроцесу „PP₁ – претходна дефектација“, а као најбитнији KPI рангирани су KPI₁₂ – расположивост радионичких капацитета“. Један од начина за унапређење KPI₁₂, а који највише утиче на потпроцес PP₁, могуће је реализовати применом неке од мера:

- За распоред алата и опреме у радионици користити „Lean“ концепт као нпр. „принципи 5с“ (<http://www.cimlss.rs/5s/>);
- Алат и опрема редовно тестирати, како радионица не би остала без истог дужи временски период, дотрајали алат и опрему заменити новом;
- Радионичке капацитете је потребно проширити и опремити алатом и опремом за ремонт у складу са увођењем нових технологија, као на пример:

а) наочаре проширене стварности (енг. *Augmented Reality Glasses*) се користе у процесу ремонта, како би се смањила људска грешка, која настаје због фрустрације при праћењу нејасних, збуњујућих или недовољно дефинисаних техничких упутстава. Информације могу бити у облику текста, симбола, 3D модела, и приказују се преко дисплеја наочара.

б) пројекција проширене стварности (енг. *Augmented Reality Projections*) је систем оптичке пројекције, који приказује процесе ремонта до оператера у реалном времену. Комбиновањем текста, светла, слика, видео записа, оператер се води кроз процедуру ремонта, при чему не мора да чита приручнике или да памти специфичне кораке процеса ремонта. Заједно са пројектором су инсталирани сензори који врше проверу исправности извршеног процеса.

в) виртуелна стварност као апликативни алат служи за преглед и откривање оштећења на средству у виду пукотина, удубљења, оштећености фарбаних слојева. Систем користи виртуелни 3D модел који се креира на основу прикупљених информација о компонентама средства, односно коришћењем интерферометрије беле светлости вођење роботом, које ствара облаке тачака који се трансформишу у виртуелну копију. Ово омогућава оператеру да се приближи компоненти, да је види из различитих углова и праваца, и као предност да ради у окружењу без стреса.

г) ремонт и контрола гласовним навођењем, у основи представља снимљени глас који пролази кроз различите процедуре и кораке. Гласовно навођење оператера у процесу ремонта смањује време процеса као и настанак људске грешке. Документација је аутоматизована, гласовни систем може да тражи информације на које оператер директно одговара на њих.

д) ручно 3D скенирање је технологија која прикупља податке о површини средства помоћу ласерског скенера, у циљу идентификације тачака, података и вредности одступања површина. Да би се добио компатабилни дигитални облик тродимензионалне слике без додира површина, облика и боја средства омогућена је 3D скенирањем.

ђ) дигитални близанац (енг. *Digital Twin*) представља фазу симулације где је реплика средства представљена континуираним подацима који се користе за предвидљивост и управљање животним веком средства. У процесу ремонта олакшава припрему алата, опреме и резервних делова пре него што средство уђе у радионицу.

Перформансе KPI_{10} повећати кроз усавршавање стручних лица у ремонту сродних средстава како би замењивост била могућа, затим ранији улаз млађег кадра у процес ремонта пре него што старији кадар заврши радни век. Тиме се добија пренос искуства на млада инжењере и механичаре као и континуитет у процесу ремонта. Увођењем нових средстава захтева и усавршавања лица за ремонт истих. С тога је потребно пре него што се нова средства уведу у употребу извршити: оспособљавање стручних лица за ремонт испољити ће се на повећање вредности KPI_6 , набавка техничке литературе која прати технолошки процес ремонта средства утицаће на KPI_{11} , набавка резервних делова чија поузданост у раду оцењена високо, утицаће на стварање базе р/д од које зависе вредности KPI_3 . Испуњењем наведених предлога унапредиће се и задовољство корисника услуга ремонта.

6. ЗАКЉУЧАК

Мерење перформанси процеса пословних организација може бити сложен и дуготрајан процес. За наведене потребе организација, развијани су модели за мерење перформанси, који омогућавају пословним организацијама увид у степен достигнутих циљева.

У досадашњој пракси организације су користиле већи број стандардних модела као што је Пирамида перформанси, Balanced Scorecard (BSC), SCOR модел, EFQM и остали. Међутим, у неким случајевима због сложености технологија и процеса, није била могућа примена стандардних модела, јер њиховом применом добијени резултати не би рефлектовали праву слику процеса, што би менаџмент организације навело на погрешан смер управљања. Сама модификација стандардних модела довела би до нарушавања концепта основе модела.

С тога је управо специфичност процеса ремонта захтевало развој хибридног модела, који ће бити ефикасан и примењив у пракси.

Како би се што реалније одсликало стање процеса, у раду је предложен хибридни модел са широком применом, где мишљење експерата има кључну улогу. Евалуација KPI-ова који су квалитативне величине захтевало је субјективну процену, са примарним фокусом на хармонизацији односно постизању консензуса. Смањење пристрасности и утицаја у одлучивању захтевало је проналажење модуса, који је у овом моделу представљен као решење са неколико тимова експерата, где један тим се фокусира на KPI_j и PP_i који се мере, а други тим врши њихову евалуацију.

Циљ ове докторске дисертације је био развој хибридног модел за оцену и рангирање кључних индикатора перформанси, који је примењен на унапређења перформанси основне делатности у ремонтним системима, како би се остварили задати циљеви.

Научни циљ у овој дисертацији је реализован кроз следеће парцијалне циљеве:

- извршено је унапређење постојећих метода за одређивање релативне важности потпроцеса и вредности KPI-ова применом FFS скупова;
- развијен је поступак за проверу консензуса процена доносилаца одлука у проблему оцене релативне важности потпроцеса помоћу фази Делфи методе проширене FFS скуповима;
- дефинисан је хибридни фази модел за оцењивање и рангирање KPI основне делатности у ремонтним системима; и
- извршено је унапређење KPI основне делатности помоћу методе GA.

Такође у овој дисертацији на основу добијених резултата предложеног модела и верификације истих од стране пословне организације и међународних часописа, потврђене су следеће хипотезе:

- хипотеза 1: Применом хибридног фази модела, на егзактан начин може да се одреди ранг KPI процеса ремонта.

Ова хипотеза се фокусира на превазилажење неизвесности помоћу FFS, а у циљу доношења што квалитетније процене важности сваког KPI за процес ремонта. За одређивање рангова KPI користиле су се доказане методе вишекритеријумског одлучивања (VIKOR и ELECTRE) проширене са FFS. Компарација добијених рангова KPI, реализована је методом сличности, где је потврђено да обе методе дају исте или сличне рангове. Такође, кроз детаљну анализу резултата истраживања, показано је да се добијени рангови KPI подударају са ранговима KPI из реалног процеса ремонта техничких система. Реализована студија случаја указује на то да се применом предложених метода на егзатан начин може да се одреди ранг KPI.

- применом хибридног фази модела, могуће је одредити на егзактан начин вредности сваког KPI, што омогућава поређење са циљном вредношћу KPI, чиме је потврђена хипотеза 2.

Разматрана хипотеза је тестирана и доказана кроз примену методе SAW проширене са FFS. На основу осам најбоље ранжираних KPI, на егзатан начин реализовано је одређивање вредности сваког KPI. Добијене вредности су указале менаџменту ремонтног система на постојеће проблеме у процесу ремонта. Предложени модел је у великој мери олакшао утврђивање недостатака и фокусирао менаџмент на предузимање конкретних мера.

- применом методе хеуристике могуће је изабрати оптимални скуп метода за унапређење KPI-ова процеса реализације основне делатности, чиме је потврђена хипотеза 3.

Анализом метода хеуристике, за потребе избора оптималног скупа метода за унапређење KPI, коришћен је GA. Метод је тестиран на вредностима KPI добијених SAW методом и референтним (циљним) вредностима KPI које су дефинисане од стране експерата. Резултати методе су показали да је кроз више итерација GA, могуће пронаћи најоптималније решење за унапређење KPI помоћу GA.

Развијени модел за мерење и управљање перформансама процеса ремонта у овој дисертацији су чинили следећи елементи:

- за прикупљање улазних података у овој дисертацији користила се анкета,
- за моделирање процеса ремонта користила се техника HIPO,
- за одређивање релативне важности потпроцеса користила се фази Делфи метода,
- за моделовање неизвесних и непрецизних података (вредности KPI-ова и релативне важности потпроцеса) користили су се FFS,
- за одређивање приоритета KPI перформанси процеса основне делатности користиле су се фазификоване методе вишекритеријумског одлучивања као што су: метода конфликта - ELECTRE и методе дистанце – VIKOR,
- за оцењивање KPI процеса ремонта користила се фазификована SAW метода,

- за решавање проблема избора оптималног броја метода квалитета које се користе за унапређење процеса реализације основне делатности, користила се методе хеуристике – генетски алгоритам.

Дисертација је написана кроз седам поглавља, од којих је по поглављима приказано следеће:

- у првом поглављу обрађен је предмет и област истраживања, дефинисан је научни циљ, хипотезе и методе које ће се користити у развоју модела;
 - у другом поглављу је извршена анализа релевантне литературе која је неопходна за развој модела за мерење и управљање KPI. Такође, анализом литературе покривене су све области од интереса за потребе утврђивања досадашњих научних резултата у предметној области као и за стварање оквира за израду дисертације;
 - у трећем поглављу је приказана методологија истраживања развоја модела за мерење и управљање KPI, са тежиштем на математичком апарату на којем је заснован предложен модел;
 - у четвртом поглављу је кроз студију случаја реализована имплементација развијеног модела. Модел је тестиран на формалним подацима који потичу из једног сложеног ремонтног система који се доминантно бави ремонтом техничких система. Добијени резултати су одсликали реално стање пословне организације. Унапређење KPI до циљних вредности постигнуто је применом GA који је саставни део развијеног модела;
 - у петом поглављу је извршена анализа резултата истраживања. Развијени модел је показао вредности KPI-ова на основу којих се дошло до следећих закључка: колики је утицај појединих KPI-ова на процес ремонта; олакшана је индентификација проблема који настају у процесу ремонту; менаџмент пословне организације је усмерен на које KPI-ове треба да обрати већу пажњу. Дубљом анализом KPI-ова се дошло до закључка да и ако су KPI-ови појединачно разматрани, ипак постоји међузависност између њих, јер узрок проблема једног KPI-а се ланчано преноси на друге KPI-ове. Поред анализе извршено је тестирање модела на промене које могу утицати на стабилност модела. Тежиште је било на промени начина одређивања дистанци FFS (тестирано код ELECTRE и VIKOR), промени начина моделовања неизвесности IFS вишег реда (тестирано код ELECTRE), промени тежинског коефицијента групног обележја код VIKOR методе, као и компаративној анализи добијених резултата. Модел одликује ефикасност и једноставност у примени. Добијени резултати су показали да је развијени модел стабилан и мање осетљив на промене;
 - у шестом поглављу је дат закључак са тежиштем на констатацији научне заснованости дисертације и верификацији модела од стране пословне организације. Верификација научне заснованости је реализована кроз 2 (два) објављена научна рада у часописима који се налазе на SCiE листи, категорије M23, и један научни рад у часопису категорије M53, према следећем:
1. Vladimir R. Milovanović, Aleksandar Aleksić, Marjan A. Milenkov i Vlada S. Sokolović, „Ranking of asset maintenance process KPIs using Fermatean fuzzy

- Delphi and Fermatean fuzzy ELECTRE method”, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, IOSPress, vol. 48, no. 3, pp. 197-213, 2025, DOI: 10.3233/JIFS-238907, ISSN 1064-1246 (P), ISSN 1875-8967 (E). [M23]
<https://content.iospress.com/journals/journal-of-intelligent-and-fuzzy-systems/48/3>
2. Vladimir Milovanović, Aleksandar Aleksić, Vlada Sokolović i Marjan Milenkov „Ranking of key performance indicators of the overhaul process of technical systems“, International Journal of Industrial Engineering, 31(1), 65-83, 2024, DOI: 10.23055/ijietap.2024.31.1.9685, ISSN 1943-670X. [M23]
<https://journals.sfu.ca/ijietap/index.php/ijie/article/view/9685>
<https://doi.org/10.23055/ijietap.2024.31.1.9685>
3. Vladimir R. Milovanović, Aleksandar Aleksić, Vlada S. Sokolović i Marjan A. Milenkov, Uncertainty modeling using intuitionistic fuzzy numbers, Military Technical Courier, vol. 69, DOI: 10.5937/vojtehg69-33301, ISSN: 0042-8469, e-ISSN: 2217-4753. [M53]
- у седмом поглављу ове дисертације је приказана релевантна литература која је коришћена за развој модела, при чему је укупно коришћено 322 наслова.

Будућа истраживања у предметној области би била усмерена на примену других модела за одређивање важности КРІ-ова, затим различитих начина изражавања мишљења експерата односно моделовања неизвесности (мултигрануларни лингвистички домени, неуравнотежени лингвистички домени, домени експресије засновани на интервал бројевима и сл.), примени других начина постизања консензуса, као и других приступа одређивања релативних важности перформанси.

Такође у будућим истраживањима, предложени модел се може имплементирати у софтверску апликацију, тако да доносиоци одлука, након прикупљања анкета од експерата, могу лако да унесу КРІ вредности у модел и добију вредности перформанси на излазу модела. На овај начин би се уз мање уложеног труда и времена брже долазило до резултата које би менаџмент организације даље користио као основу за предузимање мера за унапређење перформанси процеса организације.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abbasi R., S. (2021). A developed Best-Worst method to solve Multi-Criteria Decision-Making problems under intuitionistic fuzzy environments. *Mathematics and Computational Sciences*, vol. 1(4), 2021, pp: 43-55. doi:10.30511/mcs.2021.537067.1033, ISSN:2717-2708.
- [2] Abbass, A. (2024). Successful Planning For Oil And Gas Maintenance With Application Of Key Factors For Technical & Commercial Successful Execution, Aspur Publishing, vol. 02, No. 02, 49-60, doi: 10.61552/JEMIT.2024.02.00.
- [3] Abdollahi, S., M, Ranjbarian, B., & Kazemi, A. (2020). An Investigation of the Antecedents of Consumers' Confusion in Purchasing an Outbound Package Tour in the City of Isfahan by Fuzzy Delphi Method. *Iran. J. Manag. Stud.*, vol. 13, 527–564.
- [4] Abdullahi, M., Ahmad, T., Ramachandran, V. (2020). Ordered Discrete and Continuous Z-Numbers. *Malays. J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 16, pp: 403–407.
- [5] Abrams, W., Ghoneim, E., Shew, R., La Maskin, T., Al-Bloushi, K., Hussein, S., Abu-Bakr, M., Al-Mulla, E., Al-Awar, M., & El-Baz, F. (2018). Delineation of groundwater potential (GWP) in the northern United Arab Emirates and Oman using geospatial technologies in conjunction with Simple Additive Weight (SAW), Analytical Hierarchy Process (AHP), and Probabilistic Frequency Ratio (PFR) techniques. *Journal of Arid Environments*, vol. 157, pp: 77–96.
- [6] Afshari, A., Mojahed, M., & Yusuff, R. M. (2010). Simple Additive Weighting Approach to Personnel Selection Problem, *International Journal of Innovation. Management and Technology*, vol. 1, No. 5, ISSN: 2010-0248.
- [7] Akin, M., & Hatice, C., A. (2023). Medical waste disposal planning for healthcare units using spherical fuzzy CRITIC-WASPAS. *Applied Soft Computing*, vol. 144, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110480>.
- [8] Akram, M., & Niaz, Z. (2022). 2-Tuple Linguistic Fermatean fuzzy Decision-Making Method based on COCOSO with CRITIC for drip irrigation system analysis. *J. Comput. Cogn. Eng.*, <http://dx.doi.org/10.47852/bonviewJCCE2202356>.
- [9] Akram, M., Ali, G., Alcantud, J., Riaz, A. (2022a). Group decision-making with Fermatean fuzzy soft expert knowledge. *Artif Intell Rev* 55: pp: 5349–5389. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10119-8>.
- [10] Akram, M., Amjad, U., Alcantud, J., Santos-Garcia, G. (2022b). Complex Fermatean fuzzy N-soft sets: a new hybrid model with applications. *J. Ambient. Intell. Humaniz. Comput.*, <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03629-4>.
- [11] Akram, M., Bibi, R., Deveci, M. (2023a). An outranking approach with 2-tuple linguistic Fermatean fuzzy sets for multi-attribute group decision-making. *Eng. Appl. Artif. Intell.* vol. 121:105992. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105992>.
- [12] Akram, M., Luqman, A., & Alcantud, J.,C.,R. (2022). An integrated ELECTRE-I approach for risk evaluation with hesitant Pythagorean fuzzy information. *Expert Systems With Applications*, vol. 200, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116945>.

- [13] Akram, M., Muhiuddin, G., & Santos-Garcia, G. (2022). An enhanced VIKOR method for Multi-Criteria Group Decision-Making with complex Fermatean fuzzy sets. *Mathematic Biosciences and Engineering*, vol. 19(7), pp: 7201–7231. doi: 10.3934/mbe.2022340.
- [14] Akram, M., Niaz, Z., & Feng, F. (2022c). Extended CODAS method for Multi-Attribute Group Decision-Making based on 2-tuple linguistic Fermatean fuzzy Hamacher aggregation operators. *Granul. Comput.*, 1–26, <http://dx.doi.org/10.1007/s41066-022-00332-3>.
- [15] Akram, M., Niaz, Z., Feng, F. (2022d). Extended CODAS method for multi-attribute group decision-making based on 2-tuple linguistic Fermatean fuzzy Hamacher aggregation operators. *Granul Comput* 1–26.
- [16] Akram, M., Ramzan, N., Feng, F. (2022e). Extending COPRAS method with linguistic Fermatean fuzzy sets and Hamy mean operators. *J Math* 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8239263>.
- [17] Akram, M., Ramzan, N., Luqman, A. (2023b). An integrated MULTIMOORA method with 2-tuple linguistic Fermatean fuzzy sets: Urban quality of life selection application. *MATH* 8:2798–2828. <https://doi.org/10.3934/math.2023147>.
- [18] Akram, M., Shah, S., Al-Shamiri, M., Edalatpanah, S. (2022g). Fractional transportation problem under interval valued Fermatean fuzzy sets. *Aims Mathematics* 7:17327–17348. <https://doi.org/10.3934/math.2022954>.
- [19] Akram, M., Shahzadi, S., Shah, S., M., U., Allahviranloo, T. (2023c). An extended multi-objective transportation model based on Fermatean fuzzy sets. *Soft Comput.* <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08117-9>.
- [20] Alahmadi, R., A., Ganie, A., H., Al-Qudah, Y. (2023). Multi-attribute decision-making based on novel Fermatean fuzzy similarity measure and entropy measure. *Granul Comput* 8:1385–1405. <https://doi.org/10.1007/s41066-023-00378-x>.
- [21] Albadr, M., A., Tiun, S., Ayob, M., & Al-Dhief, F. (2020). Genetic algorithm based on natural selection theory for optimization problems. *Symmetry*, 12(11), 1758.
- [22] Albahri, O., S., Al-Samarraay, M., S., AlSattar, H.A. (2023). Rough Fermatean fuzzy decision-based approach for modelling IDS classifiers in the federated learning of IoMT applications. *Neural Comput. & Applic.* 35:22531–22549. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08933-y>.
- [23] Ali, G., Ansari, M. (2022). Multiattribute decision-making under Fermatean fuzzy bipolar soft framework. *Granul Comput* 7:337–352. <https://doi.org/10.1007/s41066-021-00270-6>.
- [24] Aliyu, R., Mokhtar, A., & Hussin, H. (2024). Research advances on the application of FLEXSIM in maintenance processes: A mini review. *AIP Conference Proceedings*, vol. 2750 (1), <https://doi.org/10.1063/5.0182021>.
- [25] Alkan, N., Kahraman, C. (2022). Prioritization of supply chain digital transformation strategies using multi expert Fermatean fuzzy analytic hierarchy process. *Informatica* 1–33. <https://doi.org/10.15388/22 INFOR493>.

- [26] Almeida-Dias, J., Figueira, J. R., & Roy, B. (2010). ELECTRE TRI-C: A Multiple Criteria Sorting Method Based on Characteristic Reference Actions. *Eur. J. Oper. Res.*, 204, 565–580.
- [27] Almeida-Dias, J., Figueira, J.,R., & Roy, B. (2012). A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: the ELECTRE TRI-NC method. *Eur. J. Oper. Res.*, 217:567–579.
- [28] Amman, M., Rashid, T., Ali, A. (2023). Fermatean fuzzy multi-criteria decision-making based on Spearman rank correlation coefficient. *Granul Comput* 8:2005–2019. <https://doi.org/10.1007/s41066-023-00421-x>.
- [29] Andriani, M, Aisha, A., Pranita, M., Siswanto, J., & Suryadi, K. (2019). Proceedings of the 2018 International Conference on Industrial Enterprise and System Engineering. DOI:10.2991/icoiese-18.2019.66.
- [30] Aro, J., Selerio, E., Evangelista, S. (2022). Fermatean fuzzy CRITIC-CODAS-SORT for characterizing the challenges of circular public sector supply chains. *Oper. Res. Perspect* 9. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100246>.
- [31] Arsyah, U.,I., Jalinus, N., Syahril, A., Arsyah R.,H., & Pratiwi, M. (2021). Analysis of the Simple Additive Weighting Method in Educational Aid Decision Making. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, Vol.12, No.14 , 2389– 2396.
- [32] Aruchsamy, R., Velusamy, I., Sanmugavel, K., Dhandapani, P.,B., & Ramasamy, K. (2024). Generalization of Fermatean Fuzzy Set and Implementation of Fermatean Fuzzy PROMETHEE II Method for Decision Making via PROMETHEE GAIA. *Axioms* 13, 408. <https://doi.org/10.3390/axioms13060408>.
- [33] Arunodaya, R.,M., Abhishek, K.,G., Honey, P., Pushpendra, R., Huchang, L., & Abbas, M. (2020) An Extended Intuitionistic Fuzzy Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison Approach for Smartphone Selection Using Discrimination Measures. *Informatica*, 2021, vol. 32, no. 1, 119–143, doi: <https://doi.org/10.15388/20-infor430>.
- [34] Atanassov, K.,T. (1983). Intuitionistic fuzzy sets. VII ITKR's Session, Sofia deposed in Central Sci. Technical Library of Bulg. Acad. of Sci, 1697, 84.
- [35] Atanassov, K.,T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- [36] Aydemir, S.,B., & Gunduz, S.,X. (2020). Fermatean fuzzy TOPSIS method with Dombi aggregation operators and its application in multi-criteria decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 39, 851–869, DOI:10.3233/JIFS-191763.
- [37] Ban, A.,I., Ban, O.,I., Bogdan, V., Popa, D.,C.,S., & Tuse, D. (2020). Performance evaluation model of Romanian manufacturing listed companies by fuzzy AHP and TOPSIS. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), 808-836.
- [38] Baračkai, Z., (1991). Menadžersko odlučivanje, Svjetlost, Sarajevo.
- [39] Benayoun, R., Roy, B., & Sussman, N. (1966). Manual de Reference du Programme ELECTRE. Note de Synthese et Formation, 25, Paris, France.

- [40] Biazzo, S., & Garengo, P. (2012). Performance Measurement with the Balanced SCORcard. Springer.
- [41] Bouraima, M.,B., Gore, A., Ayyildiz, E. (2023). Assessing of causes of accidents based on a novel integrated interval-valued Fermatean fuzzy methodology: towards a sustainable construction site. Neural Comput & Applic 35:21725–21750. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08948-5>.
- [42] Brundage, M., Morris, K.,C., Sexton, T., Mocozet, S., & Hoffman, M. (2018). Developing Maintenance Key Performance Indicators From Maintenance Work Order Data. 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference, vol. 3, <https://doi.org/10.1115/MSEC2018-6492>.
- [43] Cellier, J., Eyrolle, H., & Marine, C. (1997). Expertise in dinamic environments. Ergonomics 40, 28-50.
- [44] Centre fir Human Resources Development and Menagement. MNG centre. Key indicators performance (*приступљено 02.04.2024.. године*).
- [45] Chai, J., Liu, J., & Ngai, E. (2013). Application of decision making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. Expert Systems with Applications, 40(10), str. 3872–3885.
- [46] Chakraborty, S., Saha, A. (2023). Novel Fermatean fuzzy bonferroni mean aggregation operators for selecting optimal health care waste treatment technology. Eng Appl Artif Int 119. <https://doi.org/10.1016/j.engap.2022.105752>.
- [47] Chang, P.,C., & Wang, Y.,W. (2006). Fuzzy Delphi and Back-Propagation Model for Sales Forecasting in PCB Industry. Expert System Application, vol. 30, 715–726, doi:10.1016/j.eswa.2005.07.031.
- [48] Changlin, X., & Juhong, S. (2021). Multi-criteria decision making and pattern recognition based on similarity measures for Fermatean fuzzy sets. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 41, 5847–5863, DOI:10.3233/JIFS-201557.
- [49] Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Jornal of Operational Research, 2(6), 429-444, doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.
- [50] Chen, Q.,Y., Liu, H.,C., Wang, J.,H., & Shi, H. (2022). New model for occupational health and safety risk assessment based on Fermatean fuzzy linguistic sets and CoCoSo approach. Applied Soft Computing, vol. 126, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109262>.
- [51] Chi, M., T.,H., Glaser, R., & Farr, M.,J. (1988). The nature of expertise, Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- [52] Ciardiello, F., & Genovese, A. (2023). A Comparison Between TOPSIS and SAW methods. Annals of Operations Researche, vol. 325, 967–994, <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05339-w>.
- [53] Çolak, H., Lezki, Ş. (2023). Soft Power Effect on Long-Term Buyer-Seller Relationship: A Fuzzy Multi-Crite ria Decision-Making Approach and Evidence from

- the Turkish Smartphone Sector. *J Bus Bus Mark* 30:237–255. <https://doi.org/10.1080/1051712X.2023.2211580>.
- [54] Cooper, R., & Kaplan, R. (1991). Profit priorities from activity-based costing. *Harvard Business Review*, 69(3), 130-135.
- [55] Čupić, M., Tumala, R., & Suknović, M., (2001), *Odlučivanje - formalni pristup*, 4. prerađeno i dopunjeno izdanje, FON, Beograd.
- [56] Čupić, M., Tumala, R., & Suknović, M., (2008), *Odlučivanje – formalni pristup*. FON Beograd.
- [57] Cvetić, B., Vasiljević, D., & Ilić, O. (2011). Poređenje tri modela za merenje performansi lanca snabdevanja. *SPIN '11VIII Skup privrednika i naučnika*, Beograd, 350-357.
- [58] David, C., Uche, R., Nwifo, O., Ekpechi, D., & Kingsley, C. (2024). Integrating Machine Availability And Preventive Maintenance To Improve Productive Efficiency In A Manufacturing Industry. *Asian Journal Of Current Research*, vol. 9(2), 91-109, DOI: 10.56557/AJOCR/2024/v9i28610.
- [59] Davis, R., & Brabander, E. (2007). *ARIS design platform: getting started with BPM*. Springer Science & Business Media.
- [60] Davis, W.,S. (1998). HIPO (Hierarchy Plus Input-Process-Output) In: *The Information System Consultant's Handbook: Systems Analysis and Design*, Davis WS, Yen DC (eds.) CRC Press LLC, Florida, pp. 503-510.
- [61] De Guerny, J., Guiriec, J.,C., & Lavergne, J. (1990). *Principes et Mise en Place du Tableau de Bord de Gestion*. Paris: J. Delmas.
- [62] Dede, W.,T.,P., & Punggara, A.,A. (2018). Comparison Analysis of Simple Additive Weighting (SAW) and Weigthed Product (WP) In *Decision Support Systems*. *MATEC Web of Conferences* 215, 01003, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821501003>.
- [63] Deliktas, D., Karagoz, S., Simić, V., Aydin, N. (2023). A stochastic Fermatean fuzzy-based multi-choice conic goal programming approach for sustainable supply chain management in end-of-life buildings. *J Clean Prod* 382:135305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135305>.
- [64] Deng, Z. & Wang, J. (2022). New distance measure for Fermatean fuzzy sets and its application. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(3):1903–1930.
- [65] Devi, K. (2011). Extension of VIKOR method in intuitionistic fuzzy environment for robot selection. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14163–14168. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.227>.
- [66] Digalwar, A.,K. & Metri, B.,A. (2005). Performance Measurement Framework for World Class Manufacturing. *Int. J. Applied Management & Technology*, Vol 3., No 2.
- [67] Diwekar, U.,M. (2020). *Introduction to applied optimization*. Springer Nature. Vol. 22. DOI: 10.1007/978-0-387-76635-5.

- [68] Djordjevic, Z.,M., Djordjevic, A., Klochkova, E., & Misis, M. (2022). Application of Modern Digital Systems and Approaches to Business Process Management. Sustainability, 14(3), 1697, <https://doi.org/10.3390/su14031697>.
- [69] Dokeroglu, T., Sevinc, E., Kucukyilmaz, T., & Cosar, A. (2019). A survey on new generation metaheuristic algorithms. Computers & Industrial Engineering, vol. 137, DOI: 10.1016/j.cie.2019.106040.
- [70] Dolganova, O. (2019). Process of Technological Innovation Management in a Manufacturing Company: Assessment and Improvement. Digital Transformation and New Challenges, pp. 31-41, https://doi.org/10.1007/978-3-030-71397-3_3.
- [71] Du, S., Ye, J., Yong, R., & Zhang, F. (2021). Some Aggregation Operators of Neutrosophic Z-Numbers and Their Multicriteria Decision Making Method. Complex Intell. Syst. vol. 7, 429–438.
- [72] Dubois, D., & Prade, H. (1978). Operations on fuzzy number. International Journal of systems science, vol. 9, 613-626.
- [73] Dubois, D., & Prade, H. (1979). Operations in a fuzzy-valued logic. Information and Control, vol. 43, 224-240.
- [74] Duru, O., Bulut, E., & Yoshida, S. (2012). A Fuzzy Extended Delphi Method for Adjustment of Statistical Time Series Prediction: An Empirical Study on Dry Bulk Freight Market Case. Expert Systems with Applications, vol. 39 (1). 840–848, doi:10.1016/j.eswa.2011.07.082.
- [75] Durugbo, C., Tiwari, A., & Alcock, J.,R. (2011). A review of information flow diagrammatic models for product–service systems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 52, Numbers 9-12, 1193-1208.
- [76] Duygu, S., Sarib, I.U., & Senapati, T. (2022). Extension of capital budgeting techniques using interval-valued Fermatean fuzzy sets. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 42, 365–376, DOI:10.3233/JIFS-219196.
- [77] Ebirim, W., Usman, F., Olu-Lawal, K., Ehiobu, N., Ani, E., & Montero, D. (2024). Optimizing energy efficiency in data center cooling towers through predictive maintenance and project management. World Journal of Advanced Research and Reviews, vol. 21(02), 1782–1790, <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.2.0619>.
- [78] Enos, D.,D. (2007). Performance improvement: Makingithappen. CRC Press.
- [79] Enstrom, J. (2002). Developing guidelines for managing processes by objectives. Lulea University of Tehnology, Lulea.
- [80] Ezugwu, A.,E., Shukla, A.,K., Nath, R., Akinyelu, A.,A., Agushaka, J.,O., Chiroma, H., & Muhuri, P.,K. (2021). Metaheuristics: a comprehensive overview and classification along with bibliometric analysis. Artificial Intelligence Review, 54, 4237-4316.
- [81] Fahmi, A., Ahmed, R., Aslam, M., et al (2023a) Disaster decision-making with a mixing regret philosophy DDAS method in Fermatean fuzzy number. AIMS Mathematics 8:3860–3884.

- [82] Fahmi, A., Maqbool, Z., Amin, F., Aslam, M. (2023b). Blockchain knowledge selection under the trapezoidal fermatean fuzzy number. *Soft Comput* 27:3601–3621. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07611-w>.
- [83] Farid, H.,M.,A., Bouye, M., Riaz, M., Jamil, N. (2023). Fermatean Fuzzy CODAS Approach with Topology and Its Application to Sustainable Supplier Selection. *Symmetry* 15:433. <https://doi.org/10.3390/sym15020433>.
- [84] Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multycriteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer Science + Business Media. Inc., Boston. DOI: 10.1007/b100605.
- [85] Flynn, B.,B., Schroeder, R.,G. & Sakakibara, S. (1994). A Framework for Quality Management Research and An Associated Measurement Instrument. *J. Operations Management*, Volume 11, 339-366. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(97\)90004-8](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(97)90004-8).
- [86] Franceschini, F., Galetto, M., & Maisano, D. (2007). *Management by measurement: Designing key indicators and performance measurement systems*. Springer Science & Business Media, ISBN 978-3-540-73211-2.
- [87] Ganai, S.,A., Bhardwaj, N., & Padder, R.,A. (2023). From Fuzzy Sets to Deep Learning: Exploring the Evolution of Pattern Recognition Techniques. *International Journal of Science, Mathematics and Technology Learning*, Vol. 31 No. 1, ISSN: 2327-7971 (Print) ISSN: 2327-915X (Online).
- [88] Gandomi, A.,H., Yang, X.,S., Talatahari, S., & Alavi, A.,H. (2013). Metaheuristic algorithms in modeling and optimization. *Metaheuristic applications in structures and infrastructures*, vol. 1, 1-24, DOI:10.1016/B978-0-12-398364-0.00001-2.
- [89] Gao, F., Han, M., Wang, S., & Gao, J. (2024). A Novel Fermatean fuzzy BWM-VIKOR Based Multi-Criteria Decision-Making Approach for Selecting Health Care Waste Treatment Technology. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 127, part B, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107451>.
- [90] Garg, H., Gwak, J., Mahmood, T., & Ali, Z. (2020a). Power aggregation operators and VIKOR methods for complex q-rung Orthopair fuzzy sets and their applications. *Mathematics*, vol. 8, 538, <https://doi.org/10.3390/math8040538>.
- [91] Geurtsen, M., Didden, J.,B.,H.,C., Atan, Z., & Adan, I. (2023). Production, maintenance and resource scheduling. A review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 305(2), 501-529, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.03.045>.
- [92] Ghorabae, M.,K., Amiri, M., Sadaghiani, J.,S., & Zavadskas, E.,K. (2015). Multi-criteria project selection using an extended VIKOR method with interval type-2 fuzzy sets. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14(05), 993-1016.
- [93] Gojković, R., Djurić, G., Tadić, D., Nestić, S., & Aleksić, A. (2021). Evaluation and selection of the quality methods for manufacturing process reliability improvement - Intuitionistic fuzzy sets and genetic algorithm approach. *Mathematics*, 9(13), 1-17. [doi:10.3390/math9131531](https://doi.org/10.3390/math9131531).

- [94] Gokasar, S.,J.,I., Deveci, M. (2023). Adoption of energy consumption in urban mobility considering digital carbon footprint: A two-phase interval-valued Fermatean fuzzy dominance methodology. *Eng. Appl Artif Intell* 126:106836. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106836>.
- [95] Gomez, P.,M.,A., Camarero, O.,A., & Cancelas, N.,G. (2015). Use of the Delphi Method to Determine the Constraints that Affect the Future Size of Large Container Ships. *Maritime Policy & Management*. vol. 42 (3). 263–277. doi:10.1080/03088839.2013.870358.
- [96] Gonzalez, E., Emmanouil, M., Nanos, E. M., Seyr, H., Valldecabres, L., Yurusen, N., Ursula, S. U., Muskulus, M., & Melero, J. (2017). Key Performance Indicators for Wind Farm Operation and Maintenance. *Energy Procedia*, Volume 137, 559-570, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.385>.
- [97] Gonzalez, S., Gutiérrez, D., & Rivas, N. (2022). Digitalizing Maritime Containers Shipping Companies: Impacts on Their Processes. *Applied Sciences*. volumen 12, <https://doi.org/10.3390/app12052532>.
- [98] Gonzalo, A. P., Benmessaoud, T., Entezami, M., & Márquez, F.,P.,G. (2022). Optimal maintenance management of offshore wind turbines by minimizing the costs. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 52, Part C, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102230>.
- [99] Görçün, O.,F., Aytekin, A., & Korucuk, S. (2023). Evaluating and selecting sustainable logistics service providers for medical waste disposal treatment in the healthcare industry. *Journal of Cleaner Production* 408 (1): 137194. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.137194.
- [100] Görçün, O.,F., Mishra A.,R., Aytekin, A., & Simic, V. (2024). Selçuk Korucuk Evaluation of Industry 4.0 strategies for digital transformation in the automotive manufacturing industry using an integrated fuzzy decision-making model. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 74, 922-948, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.05.005>.
- [101] Greco, S., Kadzinski, M., Mousseau, V., & Słowiński, R. (2011). ELECTREGKMS: Robust Ordinal Regression for Outranking Methods. *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 214(1); 118–135.
- [102] Gul, M., & Ak, M. (2022). Occupational risk assessment for flight schools: a 3,4-Quasirung fuzzy multi-crite-ria decision making-based approach. *Sustainability* 14. <https://doi.org/10.3390/su14159373>.
- [103] Gul, M., & Fatih, A. M. (2022). Occupational Risk Assessment for Flight Schools: A 3,4-Quasirung Fuzzy Multi-Criteria Decision Making-Based Approach. *Sustainability*, vol. 14, <https://doi.org/10.3390/su14159373>.
- [104] Gul, S. (2021). Fermatean fuzzy set extensions of SAW, ARAS and VIKOR with applications in COVID-19 testing laboratory selection problem. *Expert Systems*, vol. 38(9), <https://doi.org/10.1111/exsy.12769>.

- [105] Habibi, A., Jahantighb, F.,F., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*. vol. 5, No. 2, pp. 130-143. ISSN 2249-7307.
- [106] Hadi, A., Khan, W., Khan, A. (2021). A novel approach to MADM problems using Fermatean fuzzy Hamacher aggregation operators. *Int J Intell Syst* 36:3464–3499. <https://doi.org/10.1002/int.22423>.
- [107] Haq, I.,U., Shaheen, T., Ali, W. (2023). Novel Fermatean Fuzzy Aczel-Alsina Model for Investment Strategy Selection. *Mathematics* 11:3211. <https://doi.org/10.3390/math11143211>.
- [108] Harifi, S., Mohammadzadeh, J., Khalilian, M., & Ebrahimnejad, S. (2021). Giza Pyramids Construction: an ancient-inspired metaheuristic algorithm for optimization. *Evolutionary Intelligence*, vol. 14, 1743-1761, <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00451-3>.
- [109] Harmon, P. (2005). Core, Management, and Enabling Processes, *Business Process Trends*, Vol. 3 No. 22.
- [110] Harrington, H.,J. (1991). Business process improvement: The break through strategy for total quality, productivity, and competitiveness. McGraw Hill Professional.
- [111] Harrington, H.,J. (2006). Process management excellence: the art of excelling in process management (Vol. 1). Paton Professional.
- [112] Harrison, E.,F., & Pelletier, M.,A. (2000). The essence of management decision, *Management Decision* 38/7.
- [113] Herrera, F, & Herrera, V.,E. (2000a). Linguistic decesion analysis: steps for solving decesion problems under linguistic information, *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 67-82.
- [114] Hierro, A.,F.,R.,L., Sancez, M., Fernandez, D.,P., Juarez, R.,M., & Roldan, C. (2021). Fuzzy Delphi Consensus Methodology Based on a Fuzzy Ranking, *Mathematics*, volume 9, 2323. <https://doi.org/10.3390/math9182323>.
- [115] Holland, J.,H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- [116] Hronec, S.,M. (1993). *Vital Signs: Using Quality. Time and cost performance measurements to chart your company's future*, Amacom, New York, NY.
- [117] Hsu, C.,W., Hu, A.,H., Chiou, C.,Y., & Chen, T.,C. (2011). Using the FDM and ANP to Construct a Sustainability Balanced Scorecard for the Semiconductor Industry. *Expert Systems with Applications*, 38 (10), 12891–12899, doi:10.1016/j.eswa.2011.04.082.
- [118] Huang, Q., Huang, J., & Fu, W. (2023). Acceleration of Electric Machine Structure optimization Using Performance Classifier Enhanced Evolutionary Search. *IEEE 6th Student Conference on Electric Machines and Systems*, DOI: 10.1109/SCEMS60579.2023.10379235.

- [119] Huang, Y.,T., Lee W.,H., & Tsai J.,H. (2023). A New Approach to Multiple Criteria Decision-Making Using the Dice Similarity Measure under Fermatean Fuzzy Environments. *Journal of Internet Technology*, vol. 24(4), pp. 849-860.
- [120] Hwang, C., L., & Yoon, K., (1981). *Multiple Attribute Decision Making: A State of the Art Survey*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Berlin, vol. 186.
- [121] IBM Corporation (1974). HIPO - A Design Aid and Documentation Technique, Publication Number GC20-1851, IBM Corporation, White Plains, NY.
- [122] Ibrahim, A. & Surya, R.,A. (2019). The Implementation of Simple Additive Weighting (SAW) Method in Decision Support System for the Best School Selection in Jambi. *Journal of Physics: Conference Series* 1338, 21-24, doi:10.1088/1742-6596/1338/1/012054.
- [123] internet stranica: <http://www.cimlss.rs/5s/> (приступљено 12.12.2023. године).
- [124] internet stranica: www.apqc.org (приступљено 12.02.2024. године).
- [125] internet stranica: www.cmc.foi.hr:8080/komwiki/index.php, (приступљено 12.02.2020. године).
- [126] internet stranica: www.statusprosper.com/2008/poslovnoodl.html, (приступљено 12.02.2020. године).
- [127] Islam, R., Ali, S., Fathollahi-Fard, A.,M., & Kabir, G. (2021). A Novel Particle Swarm Optimization-Based Grey Model For The Prediction Of Warehouse Performance. *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(2), 705–727, doi: 10.1093/jcde/qwab009.
- [128] Jalham, I.,S., & Masarweh, I.,T.,A.,L. (2024). Suggested Approach for Maintenance Performance Framework: An Aircraft Maintenance Organization as a case study, Jordan. *Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Volume 18(1), 159-170, <https://doi.org/10.59038/jjmie/180112>.
- [129] Jani, N.,M., Zakaria, M.,H., Maksom, Z., Haniff, M.,S.,M. & Mustapha, R. (2018). Validating Antecedents of Customer Engagement in Social Networking Sites Using Fuzzy Delphi Analysis. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, 294–304.
- [130] Jeevaraj, S. (2021). Ordering of interval-valued Fermatean fuzzy sets and its applications. *Expert Syst Appl* 185. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. eswa. 2021. 115613](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115613).
- [131] Jovanović, T., (1998). *Operaciona istraživanja*, Mašinski fakultet, Beograd.
- [132] Judson, A.,S. (1990). *Making Strategy Happen, Transforming Plans into Reality*. London: Basil Blackwell.
- [133] Kao, F., Huang, S., Lo, H. (2022). A Rough-Fermatean DEMATEL Approach for Sustainable Development Evaluation for the Manufacturing Industry. *Int J Fuzzy Syst* 24:3244–3264. [https:// doi. org/ 10. 1007/s40815-022-01334-8](https://doi.org/10.1007/s40815-022-01334-8).
- [134] Kaplan, R.,S., & Norton, D.,P. (1996). *Balanced SCORcard: Translating Strategy into Action*. Boston: Harvard Business School Press.

- [135] Kaplan, S.,R., & Norton, D.,P. (1993). Putting the Balanced Scorecard to Work. *Harvard Business Review*, 71(5), 134–147.
- [136] Kasul, R.,A. & Motwani, J.,G. (1995). Performance Measurements in World-class Operations - A Strategic Model. *Benchmarking for Quality Management & Technology*, Vol 2, No 2.
- [137] Katzan, H.,J. (1976). *Systems Design and Documentation: An introduction to the HIPO Method*. Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-24267-0.
- [138] Kaur P. (2014) Selection of Vendor Based on Intuitionistic Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Advances in Operations Research*, 2014, 1-10. doi: 10.1155/2014/987690.
- [139] Keegan, D., Eiler, R. & Jones, C. (1989). Are Your Performance Measures Obsolete. *Management Accounting*, No 12.
- [140] Keen, P.,G. W. (1997). *The Process Edge: creating value whereit counts* Harvard Business School Press.
- [141] Khoiry, I.,A, & Amelia, D.,R. (2023). Exploring Simple Addictive Weighting (SAW) for Decision-Making. *Jurnal Inovtek Polbeng - Seri Informatika*, vol. 8, No. 2, ISSN: 2527-9866, 281-290.
- [142] Kirisci, M. (2023). Fermatean Fuzzy Type Statistical Concepts with Medical. *Fuzzy Optimization and Modelling*, 4(1) 1-14, E-ISSN:2676-7007, <https://doi.org/10.30495/fomj.2023.1982256.1082>.
- [143] Kirisci, M. (2023). New cosine similarity and distance measures for Fermatean fuzzy sets and Topsis approach. *Knowledge and Information Systems*, 65(2):855–868.
- [144] Kirisci, M., & Necip, S. (2023). A novel kernel principal component analysis with application disaster preparedness of hospital: interval-valued Fermatean fuzzy set approach. *The Journal of Supercomputing*, <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05395-w>.
- [145] Kodali, R.,B., Sangwan, K.,S. & Sunnapwar, V.,K. (2004). Performance Value Analysis for the Justification of World-class Manufacturing Systems. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, Vol 3, No 1.
- [146] Komatina, N., Djapan, M., Ristić, I., & Aleksić, A. (2021). Fulfilling External Stakeholders' Demands - Enhancement Workplace Safety Using Fuzzy MCDM. *Sustainability*, volumen 13.
- [147] Komatina, N., Tadić, Д., Đurić, G., & Aleksić, A. (2023). Determination of manufacturing process failures priority under type 2 fuzzy environment: Application of genetic algorithm and Variable neighborhood search. *Journal of Process Mechanical Engineering*. DOI: 10.1177/09544089231160510.
- [148] Koontz, H., & Weihrich, H., (1990). *Essentials of Management*, Fifth Edition, Mc Graw-Hill Publishing Company, New York.
- [149] Korucuk, S., Aytakin, A., Görçün, O., Simic, V., & Görçün, O. F. (2024). Warehouse site selection for humanitarian relief organizations using an interval-valued fermatean

- fuzzy LOPCOW-RAFSI model. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 192, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110160>.
- [150] Krstić, B.,D., & Sekulić, V.,M. (2007). Upravljanje performansama preduzeća. Ekonomski fakultet.
- [151] Krstić, B., (2012). Uloga strategijske kontrole u unapređenju poslovnih performansi, Ekonomski fakultet, Niš.
- [152] Krstić-Stojković, B. (2014). Integrirani sistem merenja poslovnih performansi. *Ekonomika*, vol.60, br. 3, 205-213.
- [153] Kueng, P. (1999). Building a process performance measurement system: some early experiences. *Journal of Scientific and Industrial Research*, vol.58, No. 3/4., pp.154.
- [154] Kumar, A., & Dash, M.,K. (2017). Causal Modelling and Analysis Evaluation of Online Reputation Management Using Fuzzy Delphi and DEMATEL. *Int. J. Strateg. Decis. Sci.*, volume 8, 27–45.
- [155] Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C., & Berges, L. (2013). Maintenance Performance Metrics: A State of the Art Review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 19 Issue: 3, pp.233-277, doi: 10.1108/JQME-05-2013-0029, ISBN 978-91-7439-379-8.
- [156] Kuzović, LJ., Aleksić, B., & Glavić, D. (2015). The Application of the Multi-criteria Analysis in Evaluating of the Road Designs. *TEHNIKA – MENADŽMENT*, 65, (1), 143-150.
- [157] Lauren, T., & Hubert, C. (2018). Accelerating the Opportunity for the Pharmaceutical Industry through KM. A Lifecycle Approach to Knowledge Excellence in the Biopharmaceutical Industry. eBook ISBN 9781315368337.
- [158] Lin, G.,S.,S., Pow, K.,J., Yahya N.,A., Foong, C.,C. & Noorani, T.,Y. (2023). Identifying relevant topics and their competency levels for dental materials science: a fuzzy Delphi study, *BMC Oral Health*, Volume 23, article number 243, <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02946-8>.
- [159] Lin, J., Saari, E., & Sun, H. (2024). A KPI Framework for Maintenance Management: Development and Implementation. *Frontiers of Performability Engineering*, pp 195–247, https://doi.org/10.1007/978-981-99-8258-5_9.
- [160] Liu, P., Rani, P., & Mishra, A. (2022) COPRAS method based on interval-valued hesitant Fermatean fuzzy sets and its application in selecting desalination technology. *Appl Soft Comput* 119. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108570>.
- [161] Liu, D., Liu, Y., & Wang, L. (2019b). Distance measure for Fermatean fuzzy linguistic term sets based on linguistic scale function: An illustration of the TODIM and TOPSIS methods. *Int J Intell Syst* 34:28072834. <https://doi.org/10.1002/int.22162>.
- [162] Liu, K., Liu, Y., & Qin, J. (2018). An integrated ANP-VIKOR methodology for sustainable supplier selection with interval type-2 fuzzy sets. *Granular Computing*, 3(3), 193-208.

- [163] Lonnie, D.,B. (2007). *Systems Analysis and Design for the Global Enterprise*. Irwin/McGraw-Hill; 7th edition, ISBN-10:0071107665.
- [164] Lukic, R. (2023). Analysis of the Trade Performance of the European Union and Serbia on the Base of FF-WASPAS and WASPAS Methods. *International Comparative Management*, Vol. 24, Issue 2. DOI: 10.24818/RMCI.2023.2.228.
- [165] Luo, S., & Liu, J. (2022) An innovative index system and HFFS-MULTIMOORA method based group decision-making framework for regional green development level evaluation. *Expert Syst Applications* 189. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. eswa. 2021. 116090](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116090).
- [166] Luqman, A., Shahzadi, G. (2023). Multi-attribute decision-making for electronic waste recycling using interval-valued Fermatean fuzzy Hamacher aggregation operators. *Granul Comput* 8:991–1012. [https://doi. org/ 10. 1007/ s41066- 023- 00363-4](https://doi.org/10.1007/s41066-023-00363-4).
- [167] Ma, Z., Shao, C., Ma, S., & Ye, Z. (2011). Constructing Road Safety Performance Indicators Using Fuzzy Delphi Method and Grey Delphi Method. *Expert Systems with Applications*, volumen 38 (3): 1509–1514, doi:10.1016/j.eswa.2010.07.062.
- [168] Macián, V., Tormos, B., & Herrero, J. (2019). Maintenance Management Balanced Scorecard Approach For Urban Transport Fleets. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and reliability*, 21(2): 226–236, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2019.2.6>.
- [169] Martin, J., & McClure, C. (1985). *Diagramming Techniques for Analysts and Programmers*. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey.
- [170] Mary, A. G. & Charles, C. R. (1986). Expert System Verification Concerns In An Operations Environment. NASA, paper N88-17234.
- [171] Maskell, B. (1992). *Performance Measurement for World Class Manufacturing: A Model for American Companies*. Productivity Press, Cambridge, United Kingdom.
- [172] Mateen, M.,H., Al-Dayel, I., Alsuraiheed, T. (2023). Fermatean Fuzzy Fairly Aggregation Operators with Multi Criteria Decision-Making. *Axioms* 12:865. [https://doi.org/ 10.3390/axioms12090865](https://doi.org/10.3390/axioms12090865).
- [173] Mathew, T.,V. (2012). Genetic algorithm. Report submitted at IIT Bombay, 53.
- [174] McCormack, K.,P. & Johnson, W.,C. (2001). *Business process orientation: Gaining the e-business competitive advantage*. CRC Press.
- [175] Melanie, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge: MA: MIT Press. ISBN 9780585030944.
- [176] Mendel, J. (2003). Type-2 Fuzzy Sets: Some Questions and Answers. *IEEE Neural Networks Society*.
- [177] Milićević, M., & Milenkov, M. (2014). Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja. *Vojnotehnički glasnik*, 60(2), 141-166.
- [178] Milićević, R.,M. & Župac, G. (2012). Subjektivni pristup određivanja težine kriterijuma. *Vojnotehnički Glasnik/Military Technical Courier*, Vol. LX, No. 2.

- [179] Milošević, D.,T., Pamučar, D., & Chatterjee, P. (2021). Model for selecting a route for the transport of hazardous materials using a fuzzy logic system. *Vojnotehnički glasnik/Military technical courier*, vol 69, no 2,doi:10.5937/vojtehg69-29629.
- [180] Milovanović, V., Aleksić, A., Sokolović, S., & Milenkov, M. (2021). Uncertainty modeling using intuitionistic fuzzy number. *Vojnotehnički glasnik/Military technical courier*. vol. 69, issue 4, 905-929, DOI: 10.5937/vojtehg69-33301, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-33301>.
- [181] Milovanović, V., Aleksić, A., Sokolović, S., & Milenkov, M. (2024). Ranking of key performance indicators of the overhaul process of technical systems. *International Journal of Industrial Engineering*. 31(1), 65-83, 2024. <https://doi.org/10.23055/ijietap.2024.31.1.9685>.
- [182] Mintzberg, H. (1973). *The Natur of Managerial Work*. Harper and Row, New York.
- [183] Mirjalili, S., Gandomi, A.,H., Mirjalili, S.,Z., Saremi, S., Faris, H., & Mirjalili, S.,M. (2017). Salp Swarm Algorithm: A Bio-Inspired Optimizer For Engineering Design Problems. *Advances in Engineering Software*, 114, 163–191.
- [184] Mishra, A.,R, Chen, S.,M., & Rani, P. (2022). Multiattribute decision making based on Fermatean hesitant fuzzy sets and modified VIKOR method. *Information Sciences*, Vol. 607, 1532-1549, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.06.037>.
- [185] Mishra, A., Bullet, P., & Pandey, K. (2022a). Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* 13:295–311. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-02902-w>.
- [186] Mishra, A., Rani, P., & Saha, A. (2022b). Fermatean fuzzy copula aggregation operators and similarity measures-based complex proportional assessment approach for renewable energy source selection. *Complex Intell Systems* 8:5223–5248. <https://doi.org/10.1007/s40747-022-00743-4>.
- [187] Mishra, A.,R., Rani, P., & Deveci, M. (2023b). Interval-valued Fermatean fuzzy heronian mean operator-based decision-making method for urban climate change policy for transportation activities. *Eng Appl ArtifIntell* 124:106603. <https://doi.org/10.1016/j.engap.2023.106603>.
- [188] Misita, M., Galal, S., & Milovanović, M. (2012). A combining genetic learning algorithm and risk matrix model using in optimal production program. *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 10, br. 3, str. 147-152, doi:10.5937/jaes10-2523.
- [189] Mohamad, S.,N.,A., Embi, M.,A., & Nordin, N. (2015). Determining E-Portfolio Elements in Learning Process Using Fuzzy Delphi Analysis. *Int. Educ. Stud.*, vol. 8, 171–176.
- [190] Mohammadfam, I., Khajevandi, A.,A., Dehghani, H., Babamiri, M., & Farhadian, M. (2022). Analysis of Factors Affecting Human Reliability in the Mining Process Design Using Fuzzy Delphi and DEMATEL Methods. *Sustainability* 2022, vol. 14, 8168. <https://doi.org/10.3390/su14138168>.

- [191] Morton, B., & Benson, E. (1990). *Kombinatorni rečnik engleskog jezika*, Nolit Beograd.
- [192] Mustofa, H., & Bakhri, S. (2022). Employee Performance Assessment Using Simple Additive Weighting (SAW) Method. *Proceedings of the 5 th International Conference on Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management*, 1157-1162.
- [193] Myrodia, A., & Hvam, L. (2015) Identification of complexity cost factors in manufacturing companies. *Proceedings of the 22nd EurOMA Conference*.
- [194] Naghipour, M.,S., Rahim, Z.,A., & Igbal, M.,S. (2024) A 5G competency model based on the fuzzy Delphi method, *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, volume 8(10), 6788. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i10.6788>.
- [195] Naseri, H., Shokoohi, M., Jahanbakhsh, H., Golroo, A., & Gandomi, A. (2022). Evolutionary and Swarm Intelligence Algorithms on Pavement Maintenance and Rehabilitation Planning. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 23(13), 4649-4663, <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1969019>.
- [196] Nazanin, V., Rita, A.,R., & Camarinha, M.,L.,M. (2022). Assessing Normalization Techniques for Simple Additive Weighting Method. *The 8 th International Conference on Information Technology and Quantitative Management. Procedia Computer Science*, vol. 199, 1229–1263, 10.1016/j.procs.2022.01.156.
- [197] Nestić, S., Aleksić, A., Lafuente, J.,G., & Ljepava, N. (2022). Enhancing production and sale based on mathematical statistics and the genetic algorithm. *Ekonomski horizont*. volume 1, str. 57-73. ISSN: 1450-863 X.
- [198] Nikolić, I., & Borović, S., (1996). *Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver*, Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije, Beograd.
- [199] Niu, W., Rong, Y., Yu, L., Huang, L. (2022). A Novel Hybrid Group Decision Making Approach Based on EDAS and Regret Theory under a Fermatean Cubic Fuzzy Environment. *Mathematics* 10:3116. <https://doi.org/10.3390/math10173116>.
- [200] Nosek, J.,T, & Schwartz, R.,B. (1988). User validation of information system requirements: some empirical results. *IEEE Trans Software Eng* 14, 1372-1375, doi: 10.1109/32.6180.
- [201] Opricović, S. (1990). Programski paket VIKOR za višekriterijumsko kompromisno rangiranje. *SYM-OP-IS*.
- [202] Opricović, S. (1998). *Multicriteria optimization of civil engineering system and Faculty of Civil Engineering*. 302, ISBN 978-86-80049-82-3.
- [203] Opricović, S., & Tzeng, G.,H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 445-455.
- [204] Opricović, S., & Tzeng, G.,H. (2005). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178 (2), 514-529.

- [205] Palanikumar, M., Arulmozhi, K., & Iampan, A. (2022). Multi criteria Group Decision Making BASED on VIKOR and TOPSIS Methods for Fermatean fuzzy Soft with Aggregation Operators. *ICIC Express Letters*, Volume 16, 1129-1138. DOI: 10.24507/icicel.16.10.1129.
- [206] Palanikumar, M., Iampan, A., & Broumi, S. (2022). MCGDM based on VIKOR and TOPSIS proposes neutrosophic Fermatean fuzzy soft with aggregation operators. *International Journal of Neutrosophic Science*, vol. 19, (03), 85-94. <https://doi.org/10.54216/IJNS.190308>.
- [207] Pan, Y., Zeng, S., Chen, W., & Gu, J. (2023b). Service quality evaluation of crowdsourcing logistics platform based on Fermatean fuzzy TODIM and regret theory. *Eng Appl Artif Intell* 123:106385. <https://doi.org/10.1016/j.engapai.2023.106385>.
- [208] Pan., Y. (2024). Quality Evaluation of Urban Low-carbon Development based on Fermatean Fuzzy Regret Theory Model, Ningbo Polytechnic, DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4239372/v1>.
- [209] Parida, A., Kumar, U., Galar, D., & Stenström, C. (2015). Performance measurement and management for maintenance: a literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 21 Iss 1 pp. 2 – 33.
- [210] Parmenter, D. (2015). Key performance indicators: developing, implementing, and using winning KPIs. John Wiley & Sons.
- [211] Pavličić, D. (2010). Teorija odlučivanja. Ekonomski fakultet u Beogradu.
- [212] Pawan, E., Hasan, P., & Rosiyati, M.,H.,T. (2020). Utilization SAW Method to Choose Goods Suppliers at PT. King Computer, vol.13 No.1, ISSN: 1978 -8282, Online ISSN: 2655-4275.
- [213] Pengsomboon, W., Thanawasien, S., & Pongsuwan, W. (2019). Designing Heavy and Oversized Cargo Logistics Process Based on APQC Process of Delivery Physical Products. *Engineering, Business*.
- [214] Pepić, S., Lončarević, Z., Miodragović, G., & Aleksandrov, S. (2017). Solution Implementation Genetic Algorithms Of Traveling Salesman Problem In Java Programming Language. *Informacione tehnologije, obrazovanje i preduzetništvo*, 319-328.
- [215] Pinar, A., & Boran, E.,F. (2020). A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11:1749–1780.
- [216] Pokorni, S. (2021). Current state of the application of artificial intelligence in reliability and maintenance. *Vojnotehnički glasnik/Military technical courier.*, vol 69, no 3, doi: 10.5937/vojtehg69-30434.
- [217] Pranolo, A., & Muslimah, W.,S. (2014). Simple Additive Weighting Method on Intelligent Agent for Urban Forest Health Monitoring. *International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications Simple*, 132–135.

- [218] Prasetyo, B., Baroroh, N., & Rufiyanti, D.,E. (2016). Fuzzy Simple Additive Weighting Method in The Decision Making of Human Resource Recruitment. *Lontar Komputer*, vol. 7, no.3, DOI: 10.24843/LKJITI.2016.v07.i03.p05, p-ISSN 2088-1541, e-ISSN 2541-5832.
- [219] Pritchard, R.,D., Roth, P.,L., Jones, S.,D., & Roth, P.,G. (1990). Implementing feedback systems to enhance productivity: a practical guide. *Global Business and Organizational Excellence*, 10(1), 57-67.
- [220] Prusty, S.,K., Mohapatra, P.,K.,J., & Mukherjee, C.,K. (2010). GOS Tree (Goal-Objective-Strategy Tree) Approach to Strategic Planning Using a Fuzzy-Delphi Process: An Application to the Indian Shrimp Industry. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 77 (3): 442–456. doi:10.1016/j.techfore.2009.10.003.
- [221] Purwanto, R., Dwi, N.,P., Maharrani, R.,H., & Syafirullah, L. (2021). Application of Simple Additive Weighting (SAW) Method and Decision Table in Decision Support System Determines the Level of Problem Student Punishment Levels. *Proceedings of the 4th International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science*, 1194-1202, ISSN: 2975-8246, DOI: 10.5220/0010962300003260.
- [222] Puška, A. (2011). Ranking of Investment projects using VIKOR method. *Singidunum revija*, 8 (2), 33-39, ISSN 1820-8819.
- [223] Qi, G., Atef, M., & Yang, B. (2024). Fermatean fuzzy covering-based rough set and their applications in multi-attribute decision-making. *Eng Appl Artif Intell* 127:107181. <https://doi.org/10.1016/j.engapai.2023.107181>.
- [224] Qi, G., Li, J., Kang, B., & Yang, B. (2022.) The Aggregation of Z-Numbers Based on Overlap Functions and Grouping Functions and Its Application on Group Decision-Making. *Inf. Sci.* 623, 857–899.
- [225] Qin, H., Peng, Q., Ma, X., & Zhan, J. (2023). A new multi-attribute decision making approach based on new score function and hybrid weighted score measure in interval-valued Fermatean fuzzy environment. *Complex & Intelligent Systems*, <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01021-7>.
- [226] Qin, J., Liu, X., & Pedrycz, W. (2015). An extended VIKOR method based on prospect theory for multiple attribute decision making under interval type-2 fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, 86, 116-130.
- [227] Rajković, D., Đurđević, S., Gojković, R., & Moljević, S. (2013). Pristup merenja performansi standardizovanih sistema menadžmenta. *Kvalitet* 2013, 8. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, 71-76.
- [228] Rajora, M., Zou, P., Xu, W., Jin, L., Chen, W., & Liang, S.,Y. (2017). Prediction and Optimization of Key Performance Indicators in the Production of Stator Core Using a GA-NN. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin*, vol. 272, doi:10.1088/1757-899X/272/1/012.
- [229] Rani, P., Mishra, A. (2021). Fermatean fuzzy Einstein aggregation operators-based MULTIMOORA method for electric vehicle charging station selection. *Expert Syst Appl* 182. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115267>.

- [230] Rani, P., Mishra, A. (2022). Interval-valued fermatean fuzzy sets with multi-criteria weighted aggregated sum product assessment-based decision analysis framework. *Neural Comput Appl* 34:8051–8067. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06782-1>.
- [231] Rani, P., Mishra, A., & Saha, A. (2022b). Fermatean fuzzy Heronian mean operators and MEREC-based additive ratio assessment method: An application to food waste treatment technology selection. *Int J Intell. Syst* 37:2612–2647. <https://doi.org/10.1002/int.22787>.
- [232] Rani, P., Mishra, A., Deveci, M., & Antucheviciene, J. (2022a). New complex proportional assessment approach using Einstein aggregation operators and improved score function for interval-valued Fermatean fuzzy sets. *Comput Ind Eng* 169. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108165>.
- [233] Rao, M., & Phusavat, K. (2013). Evaluating the performance of a wastewater plant using the APC model. *International Journal of Services and Standards*. Vol. 8, No. 4, pp 347–367, <https://doi.org/10.1504/IJSS.2013.058229>.
- [234] Rašuo, B., Bengin, A., & Dinilović, M. (2023). Višekriterijumska aerodinamička optimizacija energetske efikasnosti farme vetrogeneratora koja je zasnovana na genetskim algoritmima. *Tehnika*, vol. 78, 6, 681–696, DOI: 10.5937/tehnika2306681R.
- [235] Raza, T., Masdi, B., M., M., B, Mohd, A., A., & Majid M., A. (2016). A Comprehensive Framework And Key Performance Indicators For Maintenance Performance Measurement. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, VOL. 11, NO. 20, ISSN 1819-6608.
- [236] Rodríguez, M., L., Kubler, S., Robert, J., & Le, T., Y. (2024). Dynamic maintenance scheduling approach under uncertainty: Comparison between reinforcement learning, genetic algorithm simheuristic, dispatching rules. *Expert Systems with Applications*, Vol. 248, (15), <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123404>.
- [237] Rødseth, H., Strandhagen, J., & Schjølberg, P. (2015). Key Performance Indicators for Integrating Maintenance Management and Manufacturing Planning and Control. *Advances in Production Management Systems*, DOI:10.1007/978-3-319-22756-6_9.
- [238] Rogers, M., & Bruen, M. (1998). A New System for Weighting Environmental Criteria for Use within ELECTRE III. *Eur. Journal Oper. Res.* 107; 552–563.
- [239] Rogulj, K., & Kilić-Pamuković, J. (2021). Environmental Adaptation of Construction Barriers under Intuitionistic Fuzzy Theory. *Technical journal*, 15, 1, 1–10, <https://doi.org/10.31803/tg-20210215210742>.
- [240] Rong, Y., Yu, L., Niu, W. (2022). MARCOS approach based upon cubic Fermatean fuzzy set and its application in evaluation and selecting cold chain logistics distribution center. *Eng Appl Artif Intell* 116. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105401>.
- [241] Rosemann, M., & Vom Brocke, J. (2010). The six core elements of business process management. U J. vom Brocke & M. Rosemann (Editori), *Handbook on Business Process Management. Introduction, methods and informations system*, str. 107–122. Berlin: Springer.

- [242] Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert opinions in forecasting: the role of the Delphi technique,” in *Principles of forecasting*. Springer, pp. 125–144, DOI:10.1007/978-0-306-47630-3_7.
- [243] Roy, B. (1971). Problems and Methods with Multiple Objective functions. *Math Prog.* 1: 239–266.
- [244] Roy, B., & Bouyssou, B. (1986). Comparison of Two Decision-Aid Models Applied to a Nuclear Power Plant Siting Example. *Eur J Oper Res.*, 25; 200–215.
- [245] Roy, B., & Hugonnard, J. (1982). Classement des Prolongements de Lignes de Metro en Banlieue Parisienne (presentation d’une methode multicritere originale). *Cahiers Du CERO*. 24: 153–171.
- [246] Roy, B., & Skalka, J. (1984). ELECTRE IS: Aspects Methodologiques et Guide d’Utilisation. Document du LAMSADE. 30; Universite Paris, Dauphine.
- [247] Ruan, C.,Y., Chen, X.,J., & Han, L.,N. (2023). Fermatean Hesitant Fuzzy Prioritized Heronian Mean Operator and Its Application in Multi-Attribute Decision Making, *Computers, Materials & Continua*, vol. 75 Issue 2, p3204-3222. 19p.
- [248] Saha, A., Pamucar, D., Gorcun, O.,F., & Mishra, A.,R. (2023). Warehouse site selection for the automotive industry using a fermatean fuzzy-based decision-making approach. *Expert Systems With Applications*, vol. 211, 118497, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118497>.
- [249] Salabun, W., & Urbaniak, K. (2020). A New Coefficient of Rankings Similarity in Decision-Making Problems. *Computational Science–ICCS*, 632–645, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-50417-5_47.
- [250] Samat, H.,A., Kamaruddin, S., & Azid, I.,A. (2011). Maintenance Performance Measurement: A Review. *J. Sci. & Technol.*, 19 (2): 199–211 (2011), ISSN: 0128-7680 Universiti Putra Malaysia Press.
- [251] Saraji, M.,K., Aliasgari, E., & Streimikiene, D. (2023). Assessment of the challenges to renewable energy technologies adoption in rural areas: A Fermatean CRITIC-VIKOR approach. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 189, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122399>.
- [252] Saraji, M.,K., Streimikiene, D.,D., & Kyriakopoulos, G.,L. (2021). Fermatean Fuzzy CRITIC-COPRAS Method for Evaluating the Challenges to Industry 4.0 Adoption for a Sustainable Digital Transformation. *Sustainability*, volume 13, 9577. <https://doi.org/10.3390/su13179577>.
- [253] Sari, F. (2021). Forest Fire Susceptibility Mapping Via Multi-Criteria Decision Analysis Techniques For Mugla, Turkey: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, vol 480, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118644>
- [254] Sari, I.,U., & Kahraman, C. (2021.) Intuitionistic Fuzzy Z-Numbers. In *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions*, Proceedings of the INFUS 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer: Cham, Switzerland, 2021; pp. 1316–1324. ISBN 9783030511562.

- [255] Schermerhorn, J.,R., (1996). *Management and Organizational Behaviour*. John Willey, N.Y.
- [256] Seikh, M.,R., & Chatterjee, P. (2024). Identifying sustainable strategies for electronic waste management utilizing confidence-based group decision-making method in interval valued Fermatean fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, volume 135.
- [257] Seikh, M.,R., & Mandal, U. (2023). Interval-valued Fermatean fuzzy Dombi aggregation operators and SWARA based PROMETHEE II method to biomedical waste management. *Experts Systems Application* 226:120082. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120082>.
- [258] Senapati, T., & Yager R.,R. (2019b). Some new operations over Fermatean fuzzy numbers and application of Fermatean fuzzy WPM in multiple criteria decision making. *Informatica*, 30 (2), 391–412.
- [259] Senapati, T., & Yagwer, R.,R. (2019a). Fermatean fuzzy weighted averaging/geometric operators its application in multi-criteria decision-making methods. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, volume 85, 112-121.
- [260] Senapati, T., & Yagwer, R.,R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Coputing*, volumen 11, 663-674.
- [261] Sethi, T., & Kumar, S. (2023). Multi-attribute group decision-making problem of medical consumption products based on extended TODIM–VIKOR approach with Fermatean fuzzy information measure. *Mathematical Modeling and Computing*, Vol. 10, No. 1, pp. 80–100, DOI: 10.23939/mmc2023.01.080.
- [262] Sha, L., Shao, Y. (2023). Fermatean Hesitant Fuzzy Choquet Integral Aggregation Operators. *IEEE Access* 11: 38548–38562. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3267512>.
- [263] Shahzadi, G., & Akram, M. (2021). Group decision-making for the selection of an antivirus mask under fermatean fuzzy soft information. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, volume 40, 1401–1416, DOI:10.3233/JIFS-201760.
- [264] Shahzadi, G., Luqman, A., & Karaaslan, F. (2023). A decision-making technique under interval-valued Fermatean fuzzy Hamacher interactive aggregation operators. *Soft Comput*. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08479-0>.
- [265] Shanteau, J., (1992a). *Competence in Experts: The Role of Task Charecterics, Organizational Behavior and Human Decesion Proceses*, volume 53, 252-266.
- [266] Shihua, L. & Jun, L. (2024). Self-confidence Fermatean fuzzy trust network-driven consensus fusion framework: A new energy vehicle power battery recycling service outlet selection. *Expert Systems with Applications*, Volume 254, pp. 124463.
- [267] Shit, C., Ghorai, G. (2021). Multiple attribute decision-making based on different types of Dombi aggregation operators under Fermatean fuzzy information. *Soft Comput* 25:13869–13880. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06252-9>.

- [268] Šibalija, T. & Petronić, S. (2021). The Comparison of Metaheuristic Algorithms in Parametric Optimization of Laser-Based Processes. *Tehnika – Mašinstvo*, 70 (2), 165-170, DOI: 10.5937/tehnika2102165S.
- [269] Sikavica, P., & Hernaus, T. (2011). *Dizajniranje organizacije - strukture, procesi, poslovi*. Zagreb: Novi informator.
- [270] Sikavica, P., Bebek, B., Skoko, H., & Tipurić, D. (1999). *Poslovno odlučivanje*, Informator, drugo izdanje, Zagreb.
- [271] Simic, V., Torkayesh, A., Maghsoodi, A. (2022c). Locating a disinfection facility for hazardous healthcare waste in the COVID-19 era: a novel approach based on Fermatean fuzzy ITARA-MARCOS and random forest recursive feature elimination algorithm. *Ann Oper Res*. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04822-0>.
- [272] Sink, D.,S., & Tuttle, T.,C. (1989). *Planning and Measurement in Your Organization of the Future*, IE Press, Norcross, GA.
- [273] Sokolova, M.,L., & Georgievich, V.,C. (2016). Choice of the means of transport for the creation of a logistic system relying on uncertainties. *Vojnotehnički glasnik/Military technical courier*. vol. 64, no 2, doi:10.5937/vojtehg64-10304.
- [274] Soner, O., Celik, E., & Akyuz, E. (2017). Application of AHP and VIKOR methods under interval type 2 fuzzy environment in maritime transportation. *Ocean Engineering*, 129, 107-116.
- [275] Soner, O., Celik, E., & Akyuz, E. (2022). A fuzzy best–worst method (BWM) to assess the potential environmental impacts of the process of ship recycling. *Maritime Policy & Management*, 49(3), 396-409.
- [276] Sousa, I.,C., Sigahi, T.,F.,A.,C., Rampasso, I.,S., Moraes, G.,H.,S.,M., Filho, W.,L., Eustachio, J.,H.,P.,P., & Anlolon R. (2024). A Delphi–Fuzzy Delphi Study on SDGs 9 and 12 after COVID-19: Case Study in Brazil, *Forecasting*, volume 6, 550–567. <https://doi.org/10.3390/forecast6030030>.
- [277] Srivastava, B., Chetlur, M., Gupta, S., Vasa, M., & Visweswariah, K. (2018). Effective Business Development for In-Market IT Innovations with Industry-Driven API Composition. In: Munshi, U., Verma, N. (eds) *Data Science Landscape. Studies in Big Data*, vol 38. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7515-5_12.
- [278] SRPS ISO 9000:2015, *Sistemi menadžmenta kvalitetom – Osnove i rečnik (ISO 9000:2015, IDT)*.
- [279] Stay, J.,F. (1976). HIPO and Integrated Program Design. *IBM Syst J*, 15:143-154.
- [280] Steed, C. Excellence in higher education. Evaluating the implementation of the EFQM Excellence model in higher education in the UK. *Beitree Hochschulforsch.* 2002, 24, 74–98.
- [281] Stefanović, M., Nestić, S., Djordjevic, A., Djurovic, D., Macuzic, I., & Gacic, M. (2016). An assessment of maintenance performance indicators using the fuzzy sets approach and genetic algorithms. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*,

- Part B: Journal of Engineering Manufacture, volumen 231(1), <https://doi.org/10.1177/0954405415572641>.
- [282] Subašić, P. (1997). Fazi logika i neuronske mreže. Tehnička knjiga, 1, 62-70.
- [283] Supply Chain Operations Reference (SCOR®) model: Version 11(revision), Supply Chain Council Overview, <http://docs.huihoo.com/scm/supply-chain-operations-reference-model-r11.0.pdf>, pristupljeno 11.2.2019.
- [284] Suray, S., & Suresh, K. (2022). A novel Hybrid technique for solving Data Aggregation problem based on Extended Weighted K-means algorithm and Key Performance Indicators. IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference, DOI: 10.1109/MysuruCon55714.2022.9972675.
- [285] Tadić, D., Aleksić, A., Stefanović, M., & Arsovski, S. (2014). Evaluation and ranking of organizational resilience factors by using a two-step fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. Mathematical Problems in Engineering, (2014), ID 418085.
- [286] Tague, N. (2004). The quality toolbox. Quality Press. ISBN 0-87389-639-4.
- [287] Taherdoost, H. (2023). Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a Multiattribute Decision-Making Technique: A Step-By-Step Guide. Journal of Management Science & Engineering Research, 6(1), doi:10.30564/jmser.v6i1.5400.
- [288] Takeda, B.,S., & Frazzon, E. (2024). An Inventory Data-Driven Model For Predictive-Reactive Production Scheduling. International Journal of Production Research, Volume 62(9), <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2217297>.
- [289] Talbi, E.,G. (2009). Metaheuristics: from design to implementation. John Wiley & Sons.
- [290] Tan, J., Liu, Y., Senapati, T. (2022). An extended MABAC method based on prospect theory with unknown weight information under Fermatean fuzzy environment for risk investment assessment in B&R. J Ambient Intell Humaniz Comput. <https://doi.org/10.1007/s12652-022-03769-1>.
- [291] Tenner, A.,R., & De Toro, I.,J. (1997). Process redesign: The implementation guide for managers. Addison-Wesley.
- [292] Tsai, J.,F, Shen S.,P., & Li, M.,H. (2024). Applying Fermatean fuzzy sets in sustainable development assessment: a case study in the wire and cable sector, Clean Technologies and Environmental Policy, Volume 26, Issue 7.
- [293] Tuni, A., Ijomah, L.,W., Gutteridge, F., Mirpourian, M., Pfeifer, S., & Copani, G. (2023). Risk assessment for circular business models: A fuzzy Delphi study application for composite materials, Journal of Cleaner Production, vol. 389., <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135722>.
- [294] Turajlić, N., Nešković, S., & Vucković, M. (2009). Mesto mera performansi u modelima poslovnih procesa. INFOTEH-Jahorina, 8, 598-602.
- [295] Turban, E., Aronson, J.,E., Laing, T., & Sharda, R., (2010). Decision Support and Business Intelligence Systems. 9th Ed, Pearson Education, Inc.

- [296] Verma, R. (2021). A Decision-Making Approach Based on New Aggregation Operators under Fermatean Fuzzy Linguistic Information Environment. *Axioms*, volumen 10, 113. <https://doi.org/10.3390/axioms10020113>.
- [297] Vico, G., Govedarica-Lučić, A., Rajić, Z., Bodiroga, R., Mičić, I., Zec, S., S., & Mičić, M. (2017). Multi Attribute Assessment Approach In Vegetable Production. *Economics of Agriculture* 4/2017, EP volumen (64) 4, 1355-1364.
- [298] Wang, C., N., Nguyen, N., A., T., Dang, T., T., & Lu, C., M. (2021). A compromised decision-making approach to third-party logistics selection in sustainable supply chain using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods. *Mathematics*, 9(8), 886.
- [299] Wang, J., Wei, G., Wei, C., & Wei, Y. (2019). MABAC method for multiple attribute group decision making under q-rung orthopair fuzzy environment. *Defence Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.06.019>.
- [300] Wang, Y., & Yeo, G., T. (2017). Intermodal route selection for cargo transportation from Korea to Central Asia by adopting Fuzzy Delphi and Fuzzy ELECTRE I methods. *Martime Policy & Managment*, <http://dx.doi.org/10.1080/03088839.2017.1319581>.
- [301] Wee, Y., S., & Quazi, H., A. (2005). Development and Validation of Critical Factors of Environmental Management. *Industrial Management & Data Systems*, Vol 105, No 1.
- [302] Wei, D., Meng, D., Rong, Y. (2022). Fermatean fuzzy Schweizer-Sklar operators and BWM-Entropy-based combined compromise solution approach: an application to green supplier selection. *Entropy* 24. <https://doi.org/10.3390/e24060776>.
- [303] Wright, S., & Nocedal, J. (1999). Numerical optimization. *Springer Science*, 35(67-68), 7.
- [304] Wu, G., Gao, H., & Wei, C. (2019). VIKOR method for financing risk assessment of rural tourism projects under interval-valued intuitionistic fuzzy environment. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 37, 2001–2008. <https://doi.org/10.3233/JIFS-179262>.
- [305] Wu, M., C. (2019). Comparative study of ELECTRE methods with intuitionistic fuzzy sets applied on consumer decision making case. *Eur. J. Eng. Res. Sci.*, 4 (10), 103–110.
- [306] Wu, M., C., & Chen, T., Y. (2011). The ELECTRE Multicriteria Analysis Approach Based on Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Sets. *Expert Systems with Applications*, 38(10), pp.12318-12327, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.010>.
- [307] Yani, D., Tanjung, H., & Adawiyah, R. (2018). Optimizing Selection of Decision Support System with Fuzzy Simple Additive Weighting. 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), Citsm, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CITSM.2018.8674360>.
- [308] Ye, J. Similarity Measures Based on the Generalized Distance of Neutrosophic Z-Number Sets and Their Multi-Attribute Decision Making Method. *Soft Comput.* **2021**, 25, 13975–13985.
- [309] Yu, P., L. (1973). A Class of Solutions for Group Decision Problems, *Management Science*, 19(8), 936-946.

- [310] Yu, W. (1992). ELECTRE TRI: Aspects Methodologiques et Manuel d'Utilisation. Document du LAMSADE, volumen 74, Universite Paris, Dauphine.
- [311] Zadeh, L. (1975). The concept of a linguistic variable and its to approximate reasoning. Part I, Inform. Sci., volume 8, 199-249.
- [312] Zadeh, L. (1965). A. Fuzzy sets. Information and control, volumen 8(3), 338–353.
- [313] Zadeh, L. (1983). A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Languages. Computers & Mathematics with Applications.
- [314] Zadeh, L. (2011). A note on Z-numbers. Information Sciences, volume 181(14), 2923-2932.
- [315] Zavadskas, E.,K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State Of Art Surveys Of Overviews On MCDM/MADM Methods. Technological And Economic Development Of Economy, volume 20(1), 165–179.
- [316] Zeb, A., Khan, A., Juniad, M., Izhar, M. (2022). Fermatean fuzzy soft aggregation operators and their application in symptomatic treatment of COVID-19 (case study of patients identification). J Ambient Intell Humaniz Comput. [https:// doi. org/ 10. 1007/ s12652- 022- 03725-z](https://doi.org/10.1007/s12652-022-03725-z).
- [317] Zeng, S., Chen, W., Gu, J., & Zhang, E. (2023). An Integrated EDAS Model for Fermatean Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making and Its Application in Green-Supplier Selection. Systems, vol. 11, 162. <https://doi.org/10.3390/systems11030162>.
- [318] Zhang, C., Peng, K., & Dong, J. (2022). KPI-related operating performance assessment based on distributed ImRMR-KOCTA for hot strip mill process. Expert Systems with Applications, volume 209, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118273>.
- [319] Zhao, H., Lu, C., & Zhang, Y. (2024). Optimal site selection for wind-photovoltaic-complemented storage power plants based on Geographic Information System and Grey Relational Analysis-Group Criteria Importance Through Inter Criteria Correlation-Interactive and Multicriteria Decision Making: A case study of China. Journal of Energy Storage, volume 92, 1, <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112148>.
- [320] Zhou, L., P., Wan, S., P., & Dong, J., Y. (2022). A Fermatean Fuzzy ELECTRE Method for Multi-Criteria Group Decision-Making. INFORMATICA, 2022, Vol. 33, No. 1, 181–224, Vilnius University DOI: <https://doi.org/10.15388/21-INFOR46>.
- [321] Zimmermann, H.,J. (1996). Fuzzy set Theory and its applications, Boston, Kluwer Academic Publiching, USA.
- [322] Zverev, B. (1983). Proces odlučivanja u organizaciji udruženog rada. Informator, Zagreb.

ПРИЛОГ

Прилог 1

Оцена KPI_j на нивоу PP_i за потребе рангирања KPI_j

E	KPI_i / PP_i	PP_1	PP_2	PP_3	PP_4	PP_5	PP_6	PP_7	PP_8	PP_9
E_1	KPI_1	E	VE	E	VE	E	VE	VE	E	M
E_2		VE	ME	E	E	E	ME	VE	M	E
E_3		E	M	E	M	E	E	VE	VE	E
E_4		VE	U	ME	U	VE	ME	VE	VE	MU
E_5		E	E	VE	ME	VE	ME	VE	E	ME
E_1	KPI_2	E	E	VE	E	E	E	VE	E	E
E_2		E	E	ME	VE	VE	VE	ME	E	U
E_3		VE	E	M	U	E	ME	ME	M	MU
E_4		E	M	E	M	VE	VE	ME	M	VU
E_5		VE	VE	VE	E	MU	ME	ME	E	VE
E_1	KPI_3	VE	VE	VE	M	ME	ME	E	VE	E
E_2		VE	VE	VE	E	E	VE	ME	VE	E
E_3		VE	VE	E	VE	E	ME	ME	VE	E
E_4		VE	VE	E	VE	E	VE	ME	VE	E
E_5		VE	VE	U	ME	E	E	E	E	E
E_1	KPI_4	VE	VE	ME	VE	E	M	E	ME	E
E_2		E	M	VE	VE	E	VE	E	E	VE
E_3		VE	VU	ME	E	E	ME	E	ME	ME
E_4		E	VE	VE	ME	E	E	E	E	E
E_5		MU	E	E	ME	E	VE	E	M	ME
E_1	KPI_5	VE	VE	VE	VE	VE	E	VE	VE	VE
E_2		ME	M	ME	E	VE	ME	VE	ME	M
E_3		VE	E	VE	VE	E	ME	VE	VE	VE
E_4		ME	ME	E	E	VE	VE	VE	VE	E
E_5		E	M	VE	ME	VE	M	VE	ME	VE
E_1	KPI_6	E	E	ME	VE	E	ME	VE	ME	E
E_2		ME	VE	M	E	E	VE	VE	ME	ME
E_3		E	ME	VE	ME	E	M	VE	VE	VE
E_4		E	VE	M	VE	E	ME	VE	ME	VE
E_5		VE	VE	VE	E	M	M	VE	VE	ME
E_1	KPI_7	ME	E	M	VE	E	E	E	E	MU
E_2		E	E	M	E	E	ME	E	E	M
E_3		E	M	M	E	E	VE	E	E	E
E_4		E	E	M	VE	E	E	E	E	E
E_5		ME	M	M	VE	ME	ME	E	E	E
E_1	KPI_8	E	ME	VE	E	M	ME	E	MU	ME
E_2		E	VE	E	E	E	E	E	E	E
E_3		ME	ME	E	M	ME	VE	E	E	M
E_4		E	VE	VE	E	E	E	E	MU	ME
E_5		E	ME	VE	ME	E	M	E	E	M

E ₁	KPI ₉	VE	VE	E	VE	VE	MU	ME	VE	E
E ₂		VE	E	E	E	VE	VE	VE	E	E
E ₃		VE	E	E	E	VE	E	VE	ME	E
E ₄		E	E	M	E	M	VE	VE	M	E
E ₅		E	ME	E	VE	ME	U	VE	VE	E
E ₁	KPI ₁₀	VE	VE	VE	ME	VE	MU	VE	VE	VE
E ₂		VE	M	VE	E	E	ME	ME	E	E
E ₃		VE	E	VE	E	VE	VE	M	ME	ME
E ₄		VE	E	VE	ME	M	VE	VE	ME	M
E ₅		VE	VE	VE	E	E	E	E	ME	E
E ₁	KPI ₁₁	E	VE	VE	VE	E	ME	ME	M	VE
E ₂		E	ME	VE	ME	VE	VE	VE	M	M
E ₃		E	ME	VE	ME	ME	E	VE	ME	MU
E ₄		ME	VE	E	VE	E	VE	E	M	E
E ₅		E	VE	VE	VE	VE	MU	VE	VE	VE
E ₁	KPI ₁₂	E	VE	E	VE	E	E	VE	ME	M
E ₂		VE	ME	VE	E	ME	VE	ME	VE	ME
E ₃		VE	M	E	M	E	E	VE	VE	E
E ₄		VE	VE	ME	VE	VE	VE	VE	E	VE
E ₅		E	E	VE	ME	VE	VE	VE	VE	ME

Моделовање лингвистичких израза помоћу FFS

[illegible]

Прилог 3

Обједињене вредности КРІ на нивоу сваког РР_i

$$\tilde{X}_{ij} = \begin{pmatrix} (0,8502 \ 0,2693) & (0,7484 \ 0,5873) & (0,8143 \ 0,3527) & (0,7484 \ 0,5873) & (0,8502 \ 0,2693) & (0,7839 \ 0,4375) & (0,9001 \ 0,2003) & (0,8322 \ 0,3938) & (0,7117 \ 0,5394) \\ (0,8502 \ 0,2693) & (0,8059 \ 0,4015) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,7679 \ 0,5702) & (0,8276 \ 0,4543) & (0,8271 \ 0,3923) & (0,7663 \ 0,4687) & (0,7432 \ 0,4759) & (0,7083 \ 0,7314) \\ (0,9001 \ 0,2003) & (0,9001 \ 0,2003) & (0,8231 \ 0,5267) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,7843 \ 0,3624) & (0,8271 \ 0,3923) & (0,7471 \ 0,4435) & (0,8860 \ 0,2282) & (0,8002 \ 0,3004) \\ (0,8276 \ 0,4543) & (0,7998 \ 0,6488) & (0,8271 \ 0,3923) & (0,8271 \ 0,3923) & (0,8002 \ 0,3004) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,8002 \ 0,3004) & (0,7344 \ 0,4749) & (0,7998 \ 0,4000) \\ (0,8271 \ 0,3923) & (0,7628 \ 0,4975) & (0,8602 \ 0,3315) & (0,8392 \ 0,3425) & (0,8860 \ 0,2282) & (0,7737 \ 0,4697) & (0,9001 \ 0,2003) & (0,8500 \ 0,3842) & (0,8542 \ 0,3858) \\ (0,8143 \ 0,3527) & (0,8602 \ 0,3315) & (0,7966 \ 0,4929) & (0,8392 \ 0,3425) & (0,7741 \ 0,4088) & (0,7427 \ 0,5212) & (0,9001 \ 0,2003) & (0,8140 \ 0,4312) & (0,8271 \ 0,3923) \\ (0,7667 \ 0,4074) & (0,7432 \ 0,4759) & (0,6003 \ 0,6003) & (0,8695 \ 0,2504) & (0,7843 \ 0,3624) & (0,7998 \ 0,4000) & (0,8002 \ 0,3004) & (0,8002 \ 0,3004) & (0,7352 \ 0,5178) \\ (0,7843 \ 0,3624) & (0,8140 \ 0,4312) & (0,8695 \ 0,2504) & (0,7553 \ 0,4447) & (0,7553 \ 0,4447) & (0,7906 \ 0,4386) & (0,8002 \ 0,3004) & (0,7268 \ 0,5526) & (0,7344 \ 0,4749) \\ (0,8695 \ 0,2504) & (0,8143 \ 0,3527) & (0,7741 \ 0,4088) & (0,8502 \ 0,2693) & (0,8435 \ 0,4259) & (0,7951 \ 0,5950) & (0,8780 \ 0,3198) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,8002 \ 0,3004) \\ (0,9001 \ 0,2003) & (0,8322 \ 0,3938) & (0,9001 \ 0,2003) & (0,7667 \ 0,4074) & (0,8322 \ 0,3938) & (0,8145 \ 0,4832) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,7839 \ 0,4375) & (0,7906 \ 0,4386) \\ (0,7843 \ 0,3624) & (0,8500 \ 0,3842) & (0,8860 \ 0,2282) & (0,8500 \ 0,3842) & (0,8392 \ 0,3425) & (0,8145 \ 0,4832) & (0,8602 \ 0,3315) & (0,7296 \ 0,5432) & (0,8061 \ 0,5093) \\ (0,8695 \ 0,2504) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,8392 \ 0,3425) & (0,8195 \ 0,4324) & (0,8392 \ 0,3425) & (0,8695 \ 0,2504) & (0,8780 \ 0,3198) & (0,8602 \ 0,3315) & (0,7737 \ 0,4697) \end{pmatrix}$$

Прилог 4

Матрица строге сагласности C_{kl}

$$C_{kl} = \begin{pmatrix} - & 7,8 & 5,7 & 5,7,8 & 1 & 1,5,6,8 & 1,3,5,7 & 1,5,7,8 & 3,7,8 & 7,8 & 1,5,7,8 & 5,7 \\ 4,6 & - & - & - & 1,2,6 & 1,3,6 & 1,2,3,6 & 1,6 & - & - & 1 & - \\ 1,2,,6,8,9 & 1,2,8 & - & 1,8 & 1,2,6,8 & 1,2,6,8 & 1,2,3,6,8,9 & 1,2,4,5,6,8,9 & 1,2,8 & 2,8 & 1,2,8 & 1,2,8 \\ 4,6,9 & - & 5,7 & - & 6 & 3,5,6 & 3,5,9 & 4,5,6,9 & 3 & 4 & - & 9 \\ 3,4,5,8,9 & 3,5,7,8 & 4,5,7 & 3,4,5,7,8,9 & - & 3,5,6,8,9 & 1,3,5,7,9 & 4,5,7,8,9 & 3,5,7,8 & 4,5,7,8,9 & 5,7,8,9 & 3,4,5,7,9 \\ 2,4,9 & 2,7,8 & 4,7 & 4,7,8,9 & 2 & - & 1,2,3,7,9 & 1,2,4,5,7,8,9 & 2,7 & 2,4,7,8,9 & 1,2,7,8 & 2,4,7,9 \\ 4,6,9 & 4,8 & 4,7 & 4,8 & 4,6 & 4,6 & - & 4,5 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 7 & 3 & 2,3,6 & 3,6 & 1,2,3 & - & 3 & - & - & 3 \\ 1,4,9 & 1,5,7,8 & 4,7 & 1,4,8 & 1,2,4 & 1,4 & 1,2,3,9 & 1,4,5,8,9 & - & 4,7,8 & 1,7,8 & 4 \\ 1,2,3,9 & 1,2,3,7,8 & 3,7 & 1,3,8 & 1,2,3 & 1,3,5,6 & 1,2,3,9 & 1,2,3,5,8,9 & 1,3 & - & 1,3,8 & 1,2,3,9 \\ 2,3,4,9 & 2,3,4,7 & 3,4,5,7 & 3,4 & 2,3 & 3,5,6 & 1,2,3,5,9 & 2,3,4,5 & 3 & 2,4,7 & - & 2,3,4 \\ 1,2,3,4,6,8,9 & 1,3,6,7,8 & 5,6,7 & 1,3,6,8 & 1,2,6,8 & 1,3,5,6,8 & 1,2,3,5,6,9 & 1,4,5,6,8,9 & 3,8 & 6,7,8 & 1,6,7,8 & - \end{pmatrix}$$

Прилог 5

Матрица строге несагласности D_{kl}

$$D_{kl} = \begin{pmatrix} - & 4,6 & 1,2,4,6,8,9 & 4,6,9 & 3,4,5,8,9 & 2,4,9 & 4,6,9 & 3 & 1,4,9 & 1,2,3,9 & 2,3,4,9 & 1,2,3,4,6,8,9 \\ 7,8 & - & 1,2,8 & - & 3,5,7,8 & 2,7,8 & 4,8 & 3 & 1,5,7,8 & 1,2,3,7,8 & 2,3,4,7 & 1,3,6,7,8 \\ 5,7 & - & - & 5,7 & 4,5,7 & 4,7 & 4,7 & 7 & 4,7 & 3,7 & 3,4,5,7 & 5,6,7 \\ 5,7,8 & - & 1,8 & - & 3,4,5,7,8,9 & 4,7,8,9 & 4,8 & 3 & 1,4,8 & 1,3,8 & 3,4 & 1,3,6,8 \\ 1 & 1,2,6 & 1,2,6,8 & 6 & - & 2 & 4,6 & 2,3,6 & 1,2,4 & 1,2,3 & 2,3 & 1,2,6,8 \\ 1,5,6,8 & 1,3,6 & 1,2,6,8 & 3,5,6 & 3,5,6,8,9 & - & 4,6 & 3,6 & 1,4 & 1,3,5,6 & 3,5,6 & 1,3,5,6,8 \\ 1,3,5,7 & 1,2,3,6 & 1,2,3,6,8,9 & 3,5,9 & 1,3,5,7,9 & 1,2,3,7,9 & - & 1,2,3 & 1,2,3,9 & 1,2,3,9 & 1,2,3,5,9 & 1,2,3,5,6,9 \\ 1,5,7,8 & 1,6 & 1,2,4,5,6,8,9 & 4,5,6,9 & 4,5,7,8,9 & 1,2,4,5,7,8,9 & 4,5 & - & 1,4,5,8,9 & 1,2,3,5,8,9 & 2,3,5 & 1,4,5,6,8,9 \\ 3,7,8 & - & 1,2,8 & 3 & 3,5,7,8 & 2,7 & 4 & 3 & - & 1,3 & 3 & 3,8 \\ 7,8 & - & 2,8 & 4 & 4,5,7,8,9 & 2,4,7,8,9 & 4 & - & 4,7,8 & - & 2,4,7 & 6,7,8 \\ 1,5,7,8 & 1 & 1,2,8 & - & 5,7,8,9 & 1,2,7,8 & 4 & - & 1,7,8 & 1,3,8 & - & 1,6,7,8 \\ 5,7 & - & 1,2,8 & 9 & 3,4,5,7,9 & 2,4,7,9 & 4 & 3 & 4 & 1,2,3,9 & 2,3,4 & - \end{pmatrix}$$

Прилог 6

Оцена KPI_j на нивоу PP_i

E	KPI_j / PP_i	PP_1	PP_2	PP_3	PP_4	PP_5	PP_6	PP_7	PP_8	PP_9
E_1	KPI_1	E	VE	E	VE	E	VE	VE	E	M
E_2		VE	VE	E	E	E	ME	VE	M	E
E_3		VE	E	VE	E	E	E	VE	VE	E
E_4		VE	E	VE	E	VE	E	VE	VE	E
E_5		E	E	VE	ME	VE	ME	VE	E	E
E_1	KPI_2	E	VE	VE	VE	E	ME	E	M	VE
E_2		E	VE	VE	E	VE	VE	VE	M	ME
E_3		E	E	VE	ME	E	E	VE	ME	MU
E_4		ME	VE	E	VE	VE	VE	E	ME	E
E_5		ME	VE	VE	VE	VE	ME	VE	VE	VE
E_1	KPI_3	VE	VE	VE	ME	ME	ME	E	VE	E
E_2		VE	VE	VE	E	E	VE	ME	VE	E
E_3		VE	VE	E	VE	ME	ME	ME	VE	E
E_4		VE	VE	E	VE	E	VE	ME	VE	E
E_5		VE	VE	E	ME	E	E	E	E	E
E_1	KPI_5	VE	VE	VE	VE	VE	E	VE	VE	VE
E_2		ME	ME	E	VE	VE	ME	VE	ME	ME
E_3		VE	E	VE	VE	E	ME	VE	VE	VE
E_4		ME	ME	E	E	VE	VE	VE	VE	E
E_5		E	ME	VE	ME	VE	M	VE	ME	VE
E_1	KPI_6	E	E	E	VE	E	ME	VE	ME	E
E_2		ME	VE	VE	E	E	VE	VE	ME	E
E_3		E	E	VE	E	E	ME	VE	VE	VE
E_4		E	VE	M	VE	E	ME	VE	E	VE
E_5		VE	VE	VE	E	ME	M	VE	VE	ME
E_1	KPI_9	VE	VE	VE	VE	VE	E	E	VE	E
E_2		VE	E	VE	E	VE	VE	VE	E	E
E_3		VE	E	E	E	VE	E	VE	ME	E
E_4		ME	E	ME	VE	ME	VE	VE	M	E
E_5		E	E	VE	VE	ME	E	VE	VE	VE
E_1	KPI_{10}	VE	VE	VE	VE	VE	MU	VE	VE	VE
E_2		E	VE	VE	E	E	ME	E	E	E
E_3		VE	VE	E	VE	VE	M	M	ME	ME
E_4		E	VE	VE	ME	ME	VE	VE	ME	ME
E_5		VE	E	VE	E	E	E	E	ME	E
E_1	KPI_{12}	E	VE	E	VE	E	E	VE	ME	M
E_2		VE	ME	VE	E	ME	VE	ME	VE	ME
E_3		VE	M	E	ME	E	VE	VE	VE	E
E_4		VE	VE	E	VE	VE	VE	VE	VE	VE
E_5		E	ME	VE	ME	VE	VE	VE	VE	ME

Моделовање лингвистичких израза помоћу FFS

[illegible]

Прилог 8

Формирање фази матрице одлучивања $\tilde{X}_{ij}$

$$\tilde{X}_{ij} = \begin{pmatrix} (0.8694 \ 0.2501) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8141 \ 0.3524) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.7997 \ 0.3997) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8320 \ 0.3934) & (0.7739 \ 0.4084) \\ (0.9000 \ 0.2000) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8193 \ 0.4320) & (0.7665 \ 0.4071) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.7469 \ 0.4432) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8000 \ 0.3000) \\ (0.8270 \ 0.3919) & (0.7837 \ 0.4371) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8600 \ 0.3312) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.7735 \ 0.4694) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8499 \ 0.3839) & (0.8600 \ 0.3312) \\ (0.8141 \ 0.3524) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8541 \ 0.3854) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.7841 \ 0.3620) & (0.7547 \ 0.4963) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.8390 \ 0.3421) \\ (0.8600 \ 0.3312) & (0.8273 \ 0.2853) & (0.8600 \ 0.3312) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8499 \ 0.3839) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8193 \ 0.4320) & (0.8273 \ 0.2853) \\ (0.8694 \ 0.2501) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8390 \ 0.3421) & (0.8390 \ 0.3421) & (0.7554 \ 0.5353) & (0.8320 \ 0.3934) & (0.7837 \ 0.4371) & (0.7997 \ 0.3997) \\ (0.7665 \ 0.4071) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8600 \ 0.3312) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.7425 \ 0.5209) & (0.8143 \ 0.4828) \\ (0.8694 \ 0.2501) & (0.8434 \ 0.4255) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.8390 \ 0.3421) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8779 \ 0.3194) & (0.8779 \ 0.3194) & (0.7735 \ 0.4694) \end{pmatrix}$$

Прилог 9

Нормализација фази матрице одлучивања $\tilde{Z}_{ij}$

$$\tilde{Z}_{ij} = \begin{pmatrix} (0.8694 \ 0.2501) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8141 \ 0.3524) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.7997 \ 0.3997) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8320 \ 0.3934) & (0.7739 \ 0.4084) \\ (0.9000 \ 0.2000) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8193 \ 0.4320) & (0.7665 \ 0.4071) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.7469 \ 0.4432) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8000 \ 0.3000) \\ (0.8270 \ 0.3919) & (0.7837 \ 0.4371) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8600 \ 0.3312) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.7735 \ 0.4694) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8499 \ 0.3839) & (0.8600 \ 0.3312) \\ (0.8141 \ 0.3524) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8541 \ 0.3854) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.7841 \ 0.3620) & (0.7547 \ 0.4963) & (0.9000 \ 0.2000) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.8390 \ 0.3421) \\ (0.8600 \ 0.3312) & (0.8273 \ 0.2853) & (0.8600 \ 0.3312) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8499 \ 0.3839) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8193 \ 0.4320) & (0.8273 \ 0.2853) \\ (0.8694 \ 0.2501) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8390 \ 0.3421) & (0.8390 \ 0.3421) & (0.7554 \ 0.5353) & (0.8320 \ 0.3934) & (0.7837 \ 0.4371) & (0.7997 \ 0.3997) \\ (0.7665 \ 0.4071) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8600 \ 0.3312) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.8694 \ 0.2501) & (0.7425 \ 0.5209) & (0.8143 \ 0.4828) \\ (0.8694 \ 0.2501) & (0.8434 \ 0.4255) & (0.8501 \ 0.2689) & (0.8270 \ 0.3919) & (0.8390 \ 0.3421) & (0.8859 \ 0.2279) & (0.8779 \ 0.3194) & (0.8779 \ 0.3194) & (0.7735 \ 0.4694) \end{pmatrix}$$

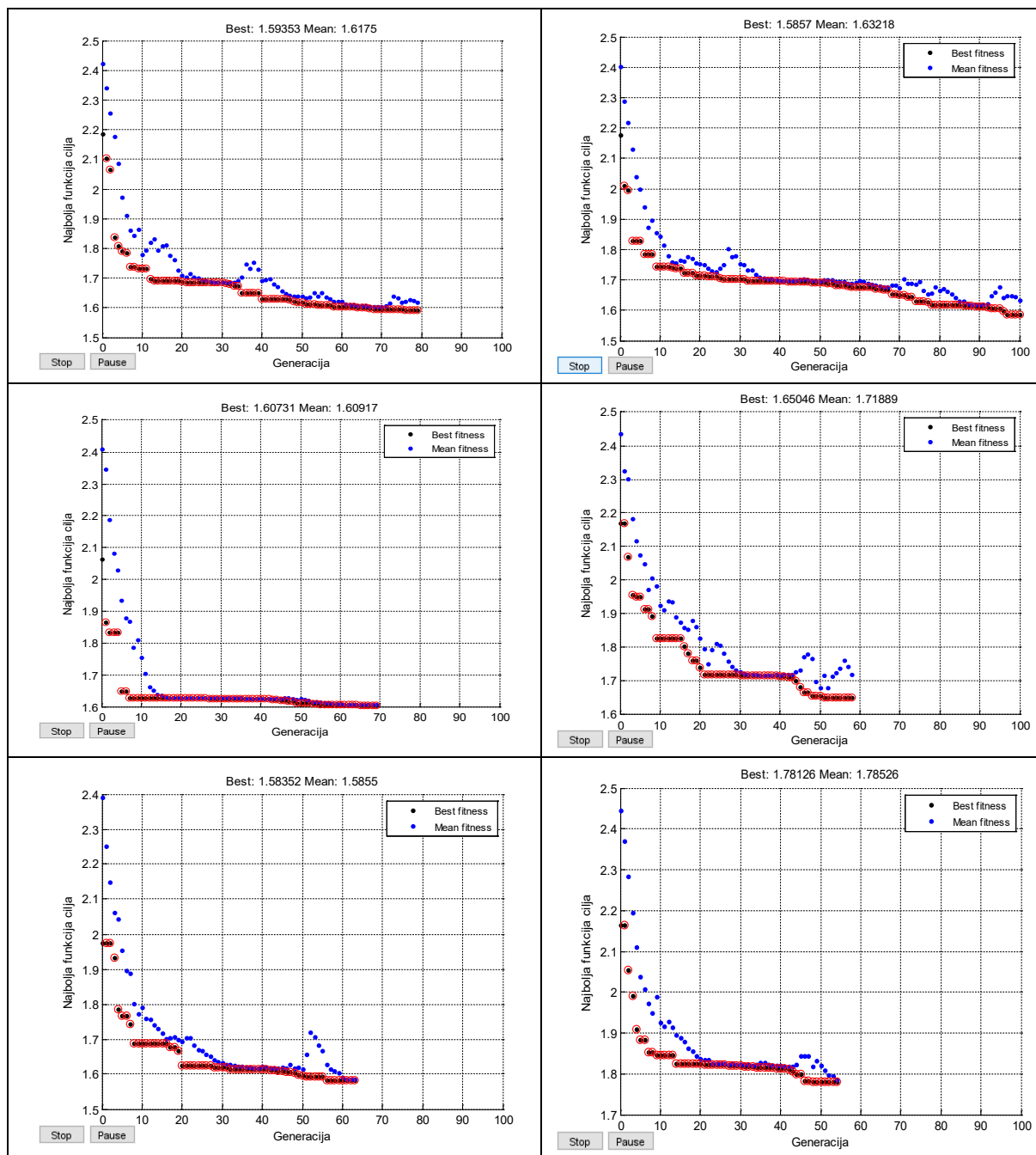
Прилог 10

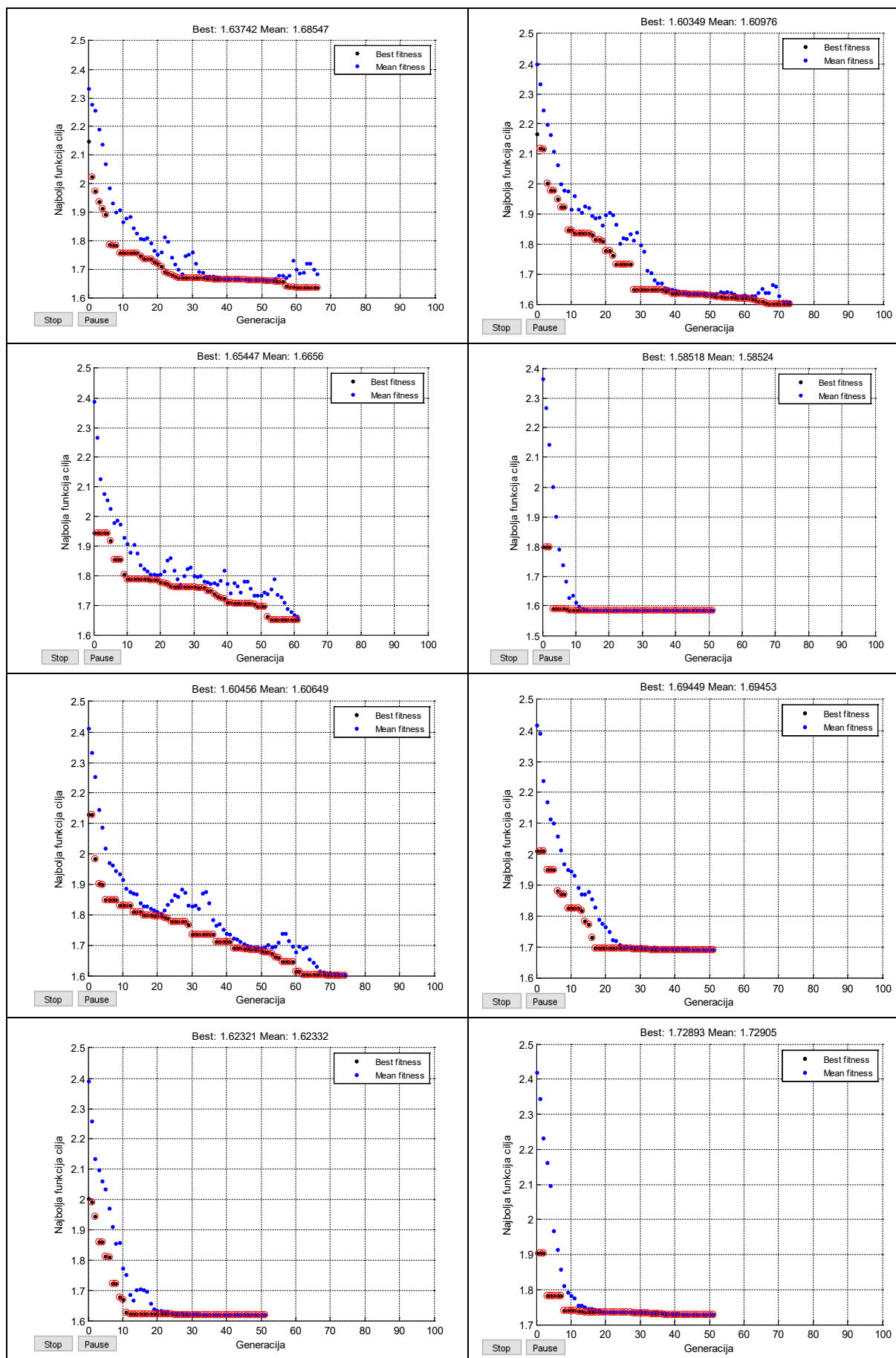
Формирање отежане нормализоване фази матрице одлучивања $\tilde{R}_{ij}$

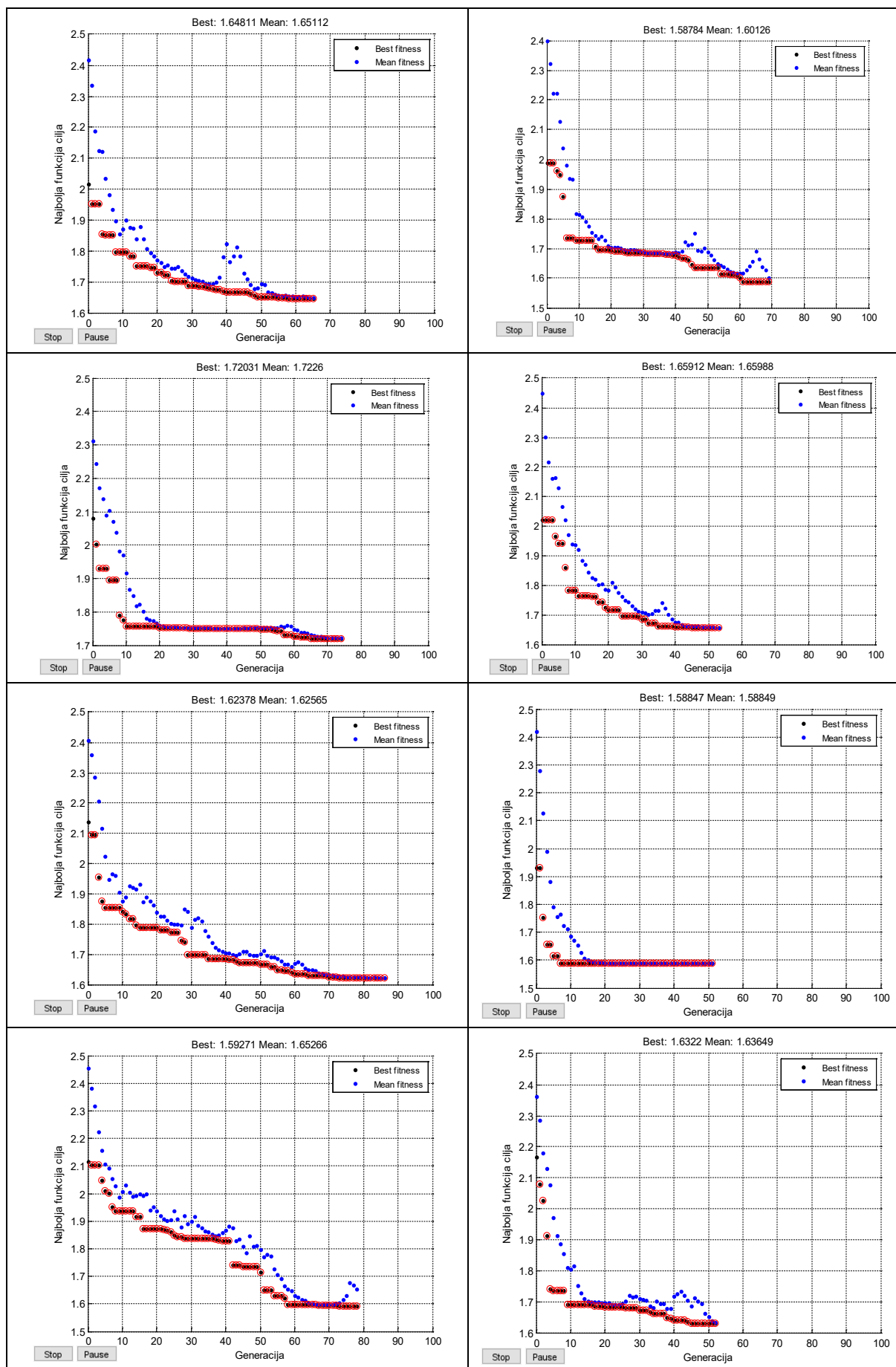
$$\tilde{R}_{ij} = \begin{bmatrix} 0.6243 & 0.6974 & 0.4887 & 0.8430 & 0.4943 & 0.8468 & 0.4214 & 0.9009 & 0.4766 & 0.8542 & 0.3481 & 0.9465 & 0.4807 & 0.8652 & 0.3881 & 0.9368 & 0.3326 & 0.9477 \\ 0.6605 & 0.6581 & 0.5388 & 0.8112 & 0.4766 & 0.8542 & 0.4253 & 0.9195 & 0.4111 & 0.8978 & 0.3658 & 0.9454 & 0.3622 & 0.9294 & 0.4309 & 0.9016 & 0.3483 & 0.9303 \\ 0.5801 & 0.7839 & 0.4345 & 0.8980 & 0.4943 & 0.8468 & 0.4585 & 0.8954 & 0.5106 & 0.8374 & 0.3324 & 0.9556 & 0.4807 & 0.8652 & 0.4013 & 0.9352 & 0.3893 & 0.9358 \\ 0.5677 & 0.7625 & 0.5068 & 0.8351 & 0.4802 & 0.8919 & 0.4499 & 0.8769 & 0.4238 & 0.8852 & 0.3216 & 0.9588 & 0.4807 & 0.8652 & 0.3845 & 0.9365 & 0.3741 & 0.9377 \\ 0.6140 & 0.7503 & 0.4689 & 0.8496 & 0.4856 & 0.8758 & 0.4668 & 0.8706 & 0.4764 & 0.8915 & 0.3819 & 0.9242 & 0.4667 & 0.8754 & 0.3792 & 0.9429 & 0.3660 & 0.9275 \\ 0.6243 & 0.6974 & 0.5234 & 0.8251 & 0.5106 & 0.8374 & 0.4408 & 0.8983 & 0.4670 & 0.8792 & 0.3220 & 0.9632 & 0.4208 & 0.9195 & 0.3559 & 0.9437 & 0.3481 & 0.9465 \\ 0.5246 & 0.7916 & 0.5234 & 0.8251 & 0.5106 & 0.8374 & 0.4585 & 0.8954 & 0.4943 & 0.8468 & 0.3658 & 0.9454 & 0.4515 & 0.8827 & 0.3311 & 0.9554 & 0.3574 & 0.9573 \\ 0.6243 & 0.6974 & 0.4828 & 0.8949 & 0.4766 & 0.8542 & 0.4312 & 0.9106 & 0.4670 & 0.8792 & 0.4101 & 0.9151 & 0.4592 & 0.9024 & 0.4239 & 0.9232 & 0.3324 & 0.9556 \end{bmatrix}$$

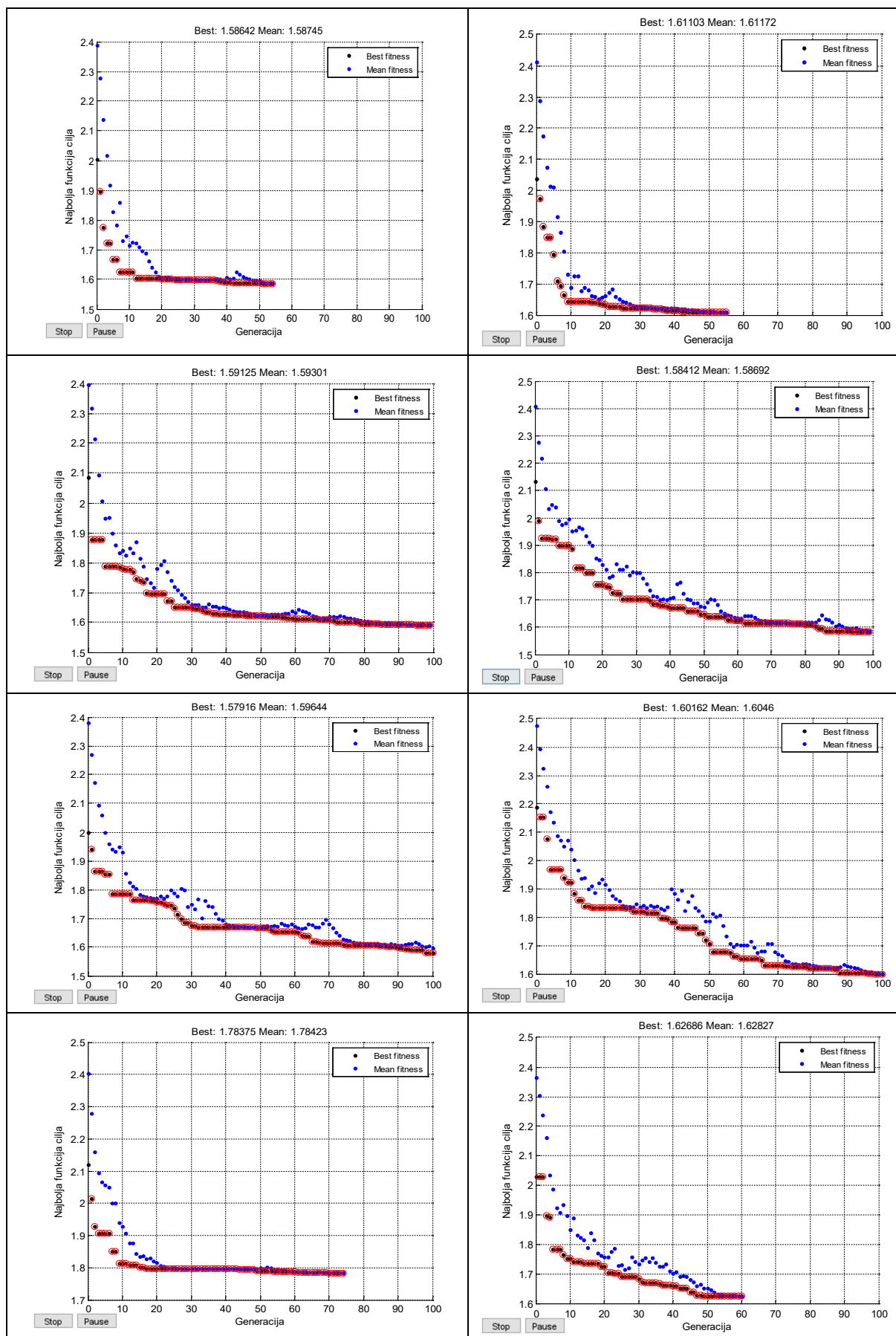
Прилог 11

Праћење еволуције генерисања функције циља









БИОГРАФИЈА

Владимир Миловановић је рођен 26. јануара 1984. године у Ваљеву. Одрастао је у селу Горње Црнићево, општина Осечина, где је завршио основну школу. Средњу техничку школу, смер енергетика је завршио 2002. године у Ваљеву. Средњу стручну војну школу, смер Техничка служба, усмерење телекомуникације, специјалност Радио уређаји и системи, завршио је у Крушевцу 2004. године.

Војну академију, смер Техничка служба, усмерење електроника, специјалност Ракетни системи је завршио 2009. године у Београду. Дипломирао на теми „Праћење покретних циљева применом сензора слике“, и тиме стекао звање дипломирани инжењер електронике, уједно официр Техничке службе.

Мастер студије завршио на Војној академији 2018. године, на студијском програму Логистика одбране, са темом мастер рада: „Симулационо моделовања процеса пријема материјалних средстава са тржишта“, и тиме стекао звање мастер инжењер логистичког инжењерства.

Докторске академске студије је уписао 2018. године на Факултету инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент. Положио је све испите предвиђене планом и програмом студија са просечном оценом 9,37.

У досадашњем научно-истраживачком раду проучавао је проблеме попут унапређења снабдевања и одржавања техничких система, примена теорије масовног опслуживања, примена метода вишекритеријумске оптимизације, примена фази приступа у моделовању неизвесности помоћу интуитивних фази бројева вишег реда, што се може видети и у објављеним радовима.

Учествовао је у реализацији научно-истраживачког пројекта “Модел система подршке планирању логистичке подршке“ (VA-TT-1/20-22). До сада је објавио више научних радова, од којих су три рада на SCI листи, док је већи део у зборницима међународних конференција.

Запослен је на Војној академији, као асистент на Катедри логистике. Од 2016. године се ангажује у наставном процесу на основним и мастер академским студијама. Радно искуство је остварио десетогодишњим радом у јединицама Војске Србије које се искључиво баве снабдевањем и одржавањем техничких система, чиме је сагледао реално стање технолошких процеса и кроз мастер рад и докторску дисертацију са научног приступа дао предлоге за унапређење истих.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

**МЕРЕЊЕ И УПРАВЉАЊЕ ПЕРФОРМАНСАМА ОСНОВНЕ ДЕЛАТНОСТИ У
СЛОЖЕНИМ РЕМОНТНИМ СИСТЕМИМА ПОМОЋУ ФАЗИ ХИБРИДНОГ
МОДЕЛА**

представља оригинално ауторско дело настало као резултат сопственог истраживачког рада.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам једини аутор наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији нисам извршио/ла повреду ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 21.03.2025. године,


потпис аутора

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:
**МЕРЕЊЕ И УПРАВЉАЊЕ ПЕРФОРМАНСАМА ОСНОВНЕ ДЕЛАТНОСТИ У
СЛОЖЕНИМ РЕМОНТНИМ СИСТЕМИМА ПОМОЋУ ФАЗИ ХИБРИДНОГ
МОДЕЛА** истоветне.

У Крагујевцу, 21.03.2025. године,


потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Владимир Миловановић,

☒

дозвољавам

☐

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

МЕРЕЊЕ И УПРАВЉАЊЕ ПЕРФОРМАНСАМА ОСНОВНЕ ДЕЛАТНОСТИ У СЛОЖЕНИМ РЕМОНТНИМ СИСТЕМИМА ПОМОЋУ ФАЗИ ХИБРИДНОГ МОДЕЛА

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

☒

дозвољавам

☐

не дозвољавам

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) **Ауторство - без прерада**
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима

6) Ауторство - некомерцијално - без прерада¹

У Крагујевцу, 21.03.2025. године,

Милошковић Владимир
потпис аутора

¹ Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>